



Ammoniak- en lachgasemissie na toediening van mineralenconcentraten

Resultaten van laboratoriumproeven in het kader van de Pilot Mineralenconcentraten

Alterra-rapport 2180
ISSN 1566-7197

Ammoniak- en lachgasemissie na toediening
van mineralenconcentraten

Dit onderzoek is uitgevoerd binnen het kader van de Pilot Mineralenconcentraten
BO-12.02-006-002-ALT-2

Ammoniak- en lachgasemissie na toediening van mineralenconcentraten

Resultaten van laboratoriumproeven in het kader van de Pilot
Mineralenconcentraten

G.L. Velthof en E. Hummelink

Alterra-rapport 2180

Alterra, onderdeel van Wageningen UR
Wageningen, 2011

Referaat

G.L. Velthof en E. Hummelink, 2011. *Ammoniak- en lachgasemissie na toediening van mineralenconcentraten. Resultaten van laboratoriumproeven in het kader van de Pilot Mineralenconcentraten. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2180. 46 blz.; 8 fig.; 4 tab.; 24 ref.*

Nederland heeft na overeenstemming met de Europese Commissie in pilots onderzoek uitgevoerd of het mineralenconcentraat dat ontstaat bij mestverwerking als kunstmest kan worden gebruikt. Dit rapport beschrijft de resultaten van drie laboratoriumproeven naar de ammoniak- en lachgasemissies uit de bodem na toediening van mineralenconcentraten en maakt onderdeel uit van een reeks onderzoeken naar de landbouw- en milieukundige effecten van het gebruik van mineralenconcentraten. De ammoniakemissie bij oppervlakkig toegediende mineralenconcentraten was vergelijkbaar met die van oppervlakkig toegediende varkensmest. Het inwerken van mineralenconcentraat leidde tot een forse reductie van de ammoniakemissie, net zoals bij varkensmest. De gemiddelde ammoniakemissie (alle proeven) van ingewerkte mineralenconcentraten was laag en vergelijkbaar met die van de oppervlakkig toegediende kunstmest KAS. De ammoniakemissie van de oppervlakkig toegediende kunstmest ureum was hoger dan die van ingewerkt concentraat. Het inwerken van concentraat en mest leidde tot een hogere lachgasemissie dan oppervlakkige toediening. De gemiddelde lachgasemissie na inwerken van mineralenconcentraten was hoger dan die van oppervlakkig toegediende KAS en ingewerkte varkensmest en gelijk aan oppervlakkig toegediende ureum. Geconcludeerd wordt dat het mineralenconcentraat een meststof is met een hoog risico op ammoniakemissie, maar dat de ammoniakemissie fors kan worden gereduceerd door emissiearme toediening. De lachgasemissie bij toediening van concentraat was hoger dan die van KAS en varkensmest.

Trefwoorden: ammoniak, dikke fractie mest, kunstmestvervanger, lachgas, mestverwerking, mineralenconcentraat, varkensmest

ISSN 1566-7197

Dit rapport is gratis te downloaden van www.alterra.wur.nl (ga naar 'Alterra-rapporten'). Alterra Wageningen UR verstrekt geen gedrukte exemplaren van rapporten. Gedrukte exemplaren zijn verkrijgbaar via een externe leverancier. Kijk hiervoor op www.rapportbestellen.nl.

© 2011 Alterra (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek)
Postbus 47; 6700 AA Wageningen; info.alterra@wur.nl

- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking van deze uitgave is toegestaan mits met duidelijke bronvermelding.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor commerciële doeleinden en/of geldelijk gewin.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor die gedeelten van deze uitgave waarvan duidelijk is dat de auteursrechten liggen bij derden en/of zijn voorbehouden.

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Alterra-rapport 2180
Wageningen, Mei 2011

Inhoud

Samenvatting	7
1 Inleiding	11
1.1 Pilot mineralenconcentraten	11
1.2 Ammoniak- en lachgasemissie	12
1.2.1 Ammoniakemissie	12
1.2.2 Lachgasemissie	13
1.3 Doel en hypothesen van het onderzoek	14
2 Materialen en methoden	15
2.1 Inleiding	15
2.2 Incubatieproef 1	16
2.3 Incubatieproef 2	17
2.4 Incubatieproef 3	18
2.5 Statistische analyses	18
3 Resultaten	19
3.1 Incubatieproef 1	19
3.1.1 Ammoniakemissie	19
3.1.2 Lachgasemissie	21
3.2 Incubatieproef 2	22
3.2.1 Ammoniakemissie	22
3.2.2 Lachgasemissie	23
3.3 Incubatieproef 3	24
3.3.1 Ammoniakemissie	24
3.3.2 Lachgasemissie	26
3.4 Synthese van resultaten	26
4 Discussie en conclusies	29
4.1 Ammoniakemissie	29
4.2 Lachgasemissie	31
Referenties	33
Bijlage 1 Resultaten van ammoniakemissie uit proef 1	35
Bijlage 2 Resultaten van lachgasemissie uit proef 1	37
Bijlage 3 Resultaten van ammoniakemissie uit proef 2	39
Bijlage 4 Resultaten van lachgasemissie uit proef 2	41
Bijlage 5 Resultaten van ammoniakemissie uit proef 3	43
Bijlage 6 Resultaten van lachgasemissie uit proef 3	45

Samenvatting

Mestverwerking wordt gezien als één van de mogelijkheden om de druk op de mestmarkt in Nederland te verlichten. Eén van de mogelijkheden is dat mest wordt gescheiden en dat het mineralenconcentraat, dat ontstaat na omgekeerde osmose van de dunne fractie, gebruikt wordt als kunstmestvervanger. Het landbouwbedrijfsleven en de Nederlandse overheid onderzoeken of dit mineralenconcentraat erkend kan worden als kunstmeststof. Nederland heeft van de Europese Commissie toestemming gekregen om gedurende twee jaar (2009 en 2010¹) in grootschalige pilots te onderzoeken of mineralenconcentraat als kunstmest kan worden gebruikt. In de pilot nemen acht producenten (installaties waar mineralenconcentraat wordt geproduceerd) en gebruikers (akkerbouwers en veehouders die het mineralenconcentraat als meststof gebruiken) deel. In de pilots worden zowel de landbouwkundige, economische als milieukundige aspecten onderzocht van de productie en het gebruik van het mineralenconcentraat. Dit rapport beschrijft de resultaten van de laboratoriumproeven naar emissies van ammoniak (NH₃) en lachgas (N₂O) na toediening van mineralenconcentraten.

Er zijn drie incubatieproeven uitgevoerd om inzicht te krijgen in het risico op ammoniak- en lachgasemissie uit de bodem bij toepassing van mineralenconcentraten in vergelijking tot andere meststoffen (kunstmest, onbehandelde varkensmest en dikke fractie uit mestscheiding). Laboratoriumonderzoek geeft een indruk van de verschillen in gasvormige emissies tussen meststoffen, maar geeft geen kwantitatieve schatting van de emissies die onder veldomstandigheden optreden. Dit onderzoek maakt onderdeel uit van een reeks onderzoeken naar de landbouw- en milieukundige effecten van het gebruik van mineralenconcentraten.

Het mineralenconcentraat bestaat uit een ammoniumoplossing met een laag gehalte aan organische N (gemiddeld minder dan 10% van totaal N) en een hoge pH (hoger dan 7,5). De combinatie van de aanwezigheid van ammonium en een hoge pH leidt tot een verhoogd risico op ammoniakemissie. Dit risico kan beperkt worden door het concentraat emissiearm toe te dienen. De hypothese van het onderzoek was dat het risico op ammoniakemissie bij toediening van mineralenconcentraat hoger is dan bij de kunstmest kalkammonsalpeter (KAS), maar lager dan die bij ureumhoudende kunstmeststoffen. Er werd ook verwacht dat het risico op ammoniakemissie uit mineralenconcentraten lager is dan die uit onbehandelde mest, omdat de mineralenconcentraten een vloeistof zijn die gemakkelijker in de bodem trekken dan mest (het snel in de bodem trekken van ammonium uit een meststof leidt tot een reductie van ammoniakemissie). Bij lachgasemissie werd verwacht dat het risico bij toediening van mineralenconcentraten lager is dan bij KAS, omdat bekend is dat nitraathoudende kunstmest een hoger risico op lachgasemissie heeft dan ammoniumhoudende meststoffen (zoals mineralenconcentraten). Dit geldt vooral bij toepassing op grasland. Het risico op lachgasemissie bij mineralenconcentraten was naar verwachting ook lager dan dierlijke mest, vooral op bouwland. Dit werd verwacht, omdat het gehalte aan organische stof lager is in mineralenconcentraten dan in mest. Organische stof is de energiebron voor bacteriën die lachgas produceren; hoe meer afbreekbare organische stof in de bodem aanwezig is of wordt toegediend, hoe hoger het risico op lachgasproductie.

Er zijn drie incubatieproeven bij 20 °C uitgevoerd waarin de ammoniak- en lachgasemissie is bepaald bij toediening van verschillende meststoffen. In de proeven 1 en 3 is onderzoek uitgevoerd met grondmonsters van bouwland, die zijn geïncubeerd in afsluitbare flessen. In proef 2 zijn grondkolommetjes uit grasland op klei-, zand- en veengrond gestoken. Deze kolommetjes met graszode zijn in het laboratorium geïncubeerd en

¹ De pilot is in 2010 met één jaar verlengd en loopt tot en met 2011.

de ammoniak- en lachgasemissies zijn gemeten met kleine fluxkamers. Het doel van de eerste laboratoriumproef was het kwantificeren van ammoniak- en lachgasemissie bij oppervlakkige en emissiearme toediening van verschillende meststoffen aan zandgrond van bouwland². De varkensmesten, concentraten en dikke fracties van vier mestverwerkingsinstallaties zijn onderzocht (A, B, C en D). Daarnaast is de emissie gemeten van drie kunstmesten: KAS, ureum en urean. De derde proef had dezelfde opzet. In deze proef werden de producten van installaties E, F en G onderzocht. In de proef mest graslandkolommetjes (proef 2) werd de ammoniakemissie bepaald na emissiearme toediening van mest, concentraat en dikke fractie van installaties A, B, C en D, evenals van de kunstmesten KAS, ureum en urean.

Een hypothese was dat het risico op ammoniakemissie bij toediening van mineralenconcentraat hoger is dan bij KAS, maar lager dan die bij ureumhoudende kunstmeststoffen. De gemiddelde ammoniakemissie na oppervlakkige toediening van KAS was in alle proeven verwaarloosbaar laag en gelijk aan die van emissiearm toegediende mineralenconcentraten. De ammoniakemissie van oppervlakkig toegediende ureum was statistisch significant ($P < 0,05$) hoger dan emissiearm toegediende mineralenconcentraat en oppervlakkig toegediende KAS.

Een hypothese was dat het risico op ammoniakemissie uit mineralenconcentraten lager is dan die uit onbehandelde mest. De ammoniakemissie na oppervlakkige toediening van mineralenconcentraten in de incubatieproeven was vergelijkbaar of hoger dan die van oppervlakkig toegediende varkensmest. Het mineralenconcentraat is dus een meststof met een hoog risico op ammoniakemissie. Dit wordt veroorzaakt door de combinatie van een hoog gehalte aan ammonium en een hoge pH (hoger dan 7,5). Het emissiearm toedienen van mineralenconcentraat leidde tot een forse reductie van de ammoniakemissie, net zoals bij varkensmest. Ook in de tweede proef, waarin de concentraten en mest emissiearm waren toegediend aan gras, was de ammoniakemissie laag. Er werden geen duidelijke effecten van grondsoort op ammoniakemissie gevonden in deze proef. De over alle proeven gemiddelde ammoniakemissie bij emissiearm toedienen van concentraat was statistisch significant lager dan die van emissiearm toegediende varkensmest. Met een juiste toedieningstechniek kan de ammoniakemissie van mineralenconcentraten dus worden vermindert.

Er waren verschillen in ammoniakemissie tussen de geteste mineralenconcentraten, maar er kon echter geen relatie worden vastgesteld tussen de samenstelling van de mineralenconcentratie en de ammoniakemissie. Dit werd waarschijnlijk veroorzaakt doordat er maar vier concentraten werden getest in elke proef, terwijl er meerdere factoren een effect hebben op de ammoniakemissie. Het aantal geteste concentraten was dus te gering om een relatie tussen samenstelling en emissies te leggen.

Het inwerken van concentraat leidde net zoals het inwerken van mest tot een hogere lachgasemissie dan oppervlakkige toediening. De hypothese bij lachgasemissie was dat het risico bij mineralenconcentraten lager is dan bij KAS. Ingewerkt concentraat resulteerde gemiddeld over alle proeven echter in een statistisch significant hogere lachgasemissie dan oppervlakkig toegediende KAS. Er was geen statistisch significant verschil in lachgasemissie tussen ingewerkt concentraat en oppervlakkig toegediend ureum en urean.

Een hypothese was dat het risico op lachgasemissie bij mineralenconcentraten lager was dan dierlijke mest en vooral op bouwland. Gemiddeld over alle proeven en toedieningstechnieken was de lachgasemissie bij toepassing van concentraat ongeveer een factor 1,5 hoger dan die bij onbehandelde mest. Dit verschil was statistisch significant. In proef 1, met grond van bouwland, was de lachgasemissie van mineralenconcentraat gemiddeld vergelijkbaar met die van varkensmest (maar er waren grote verschillen tussen de producten). Een

² Kunstmest wordt in Nederland oppervlakkig toegediend en mest en mineralenconcentraten moeten emissie-arm worden toegediend. In de analyse van de resultaten ligt daarom de aandacht vooral op vergelijking van emissie-arm toegediende concentraat met oppervlakkig toegediende kunstmest en emissie-arm toegediende mest.

reden hiervoor kan zijn dat anderen factoren een grotere rol speelden dan de aanwezigheid van afbreekbare organische stof (bijvoorbeeld het aandeel ammonium in totaal stikstof) of dat concentraten gemakkelijk afbreekbare organische stof bevatten, zoals vluchtige vetzuren.

Toediening van mineralenconcentraat leidde dus tot een relatief hoge lachgasemissie, vooral als het concentraat emissie arm wordt toegediend (er waren echter grote verschillen tussen de proeven). Er spelen een groot aantal factoren een rol bij lachgasemissie, waardoor een eenduidige verklaring voor de relatief hoge lachgasemissie bij toediening van mineralenconcentraten niet kan worden gegeven. De verschillen zullen gerelateerd zijn aan de vorm en gehalte aan stikstof, de pH, de aanwezigheid organische stof en eventuele andere factoren die van invloed zijn op de microbiële processen nitrificatie en denitrificatie.

Het onderzoek is uitgevoerd in incubatieproeven, waardoor de ammoniakemissies lager en lachgasemissies hoger zijn dan de emissies die meestal in het veld worden gemeten. Door het vergelijken van de resultaten van de mineralenconcentraten met de referentie kunstmesten en onbehandelde varkensmest kunnen enkele conclusies worden getrokken die ook van toepassing zullen zijn onder veldomstandigheden.

Conclusies in relatie tot ammoniakemissie zijn:

- Het mineralenconcentraat is een meststof met een hoog risico op ammoniakemissie en bij het niet of onvoldoende emissiearm toedienen is de ammoniakemissie hoog, waardoor de stikstofwerking van het concentraat afneemt.
- De totale ammoniakemissie bij toediening van concentraat is vergelijkbaar met die van varkensmest bij dezelfde gift aan totaal stikstof. Aangezien het aandeel ammoniumstikstof in totaal stikstof hoger is in mineralenconcentraten dan in varkensmest is de ammoniakemissiefactor uitgedrukt in procent van de toegediende ammoniumstikstof lager bij concentraten dan bij varkensmest.
- Bij bouwlandinjectie (een techniek die resulteert in een grote reductie in ammoniakemissie) is de ammoniakemissie van mineralenconcentraten vergelijkbaar met die van oppervlakkig toegediende KAS. Bij toedieningstechnieken die minder sterk ammoniakemissie reduceren is de ammoniakemissie bij mineralenconcentraten hoger dan bij KAS.
- De ammoniakemissie van oppervlakkig toegediende ureum is hoger dan emissiearm toegediend mineralenconcentraat.
- De ammoniakemissie uit oppervlakkig toegediende dikke fractie was gemiddeld lager dan die uit varkensmest en concentraat, maar was niet verwaarloosbaar. De ammoniakemissie uit oppervlakkig toegediende dikke fractie was hoger dan die van ingewerkte varkensmest. Inwerken van de dikke fractie leidt tot een vermindering van de ammoniakemissie.

Conclusies in relatie tot lachgasemissie:

- De lachgasemissie bij ammoniakemissie-arme toediening van concentraat is onder veldomstandigheden in veel gevallen hoger ten opzichte van KAS en onbehandelde varkensmest.
- Toedieningstechnieken die tot een sterke reductie van ammoniakemissie van mineralenconcentraten leiden, resulteren vaak in een hogere lachgasemissie uit mineralenconcentraten.

Hoge ammoniak- en lachgasemissies na toediening van mineralenconcentraten betekenen ook een hoog stikstofverlies en daardoor een lagere stikstofwerking als meststof. Hierbij geldt dat als er lachgas wordt gevormd tijdens denitrificatie en/of nitrificatie, er meestal ook luchtstikstof (N₂) en stikstofoxides (NO_x) worden gevormd. Het verminderen van de gasvormige stikstofemissies is een maatregel om de stikstofwerking van mineralenconcentraat als meststof te verhogen.

1 Inleiding

1.1 Pilot mineralenconcentraten

Verwerking van dierlijke mest wordt, naast voermaatregelen en export van mest, gezien als mogelijkheid om de druk op de mestmarkt in Nederland te verlichten. Eén van de mogelijkheden is dat mest wordt gescheiden en dat het mineralenconcentraat, dat ontstaat uit omgekeerde osmose (OO) van de dunne fractie, gebruikt wordt als kunstmestvervanger.

Het mineralenconcentraat is een met industrieel proces vervaardigde meststof conform de definitie van kunstmest in de Nitraatrichtlijn. Het is te verwachten dat het concentraat andere kenmerken heeft dan dierlijke mest. Maar tegelijk valt het concentraat ook onder de definitie van dierlijke mest uit de Nitraatrichtlijn, zelfs na bewerking. En daarmee blijft het gebruik ervan beperkt door de gebruiksnormen voor dierlijke mest.

Het landbouwbedrijfsleven, het ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie en het ministerie van Infrastructuur en Milieu hebben in 2009 en 2010, met instemming van de Europese Commissie, de landbouwkundige, economische en milieukundige effecten van de productie en gebruik van het mineralenconcentraat ter vervanging van kunstmest onderzocht. Dit past in het streven om tot een verantwoorde afzet van dierlijke meststoffen te komen en het past in het streven om mineralenkringlopen verder te sluiten. De gegevens uit het onderzoek dienen voor het overleg met de Europese Commissie over een eventuele permanente voorziening van gebruik van het mineralenconcentraat als kunstmestvervanger. Dit betekent dat mineralenconcentraat dan bovenop de gebruiksnorm voor dierlijke mest maar binnen de totale gebruiksnorm voor stikstof kan worden toegepast.

In de pilots nemen acht producenten deel en honderden gebruikers. Elke producent beheert een installatie waarmee mineralenconcentraat wordt geproduceerd. De gebruikers zijn akkerbouwers en veehouders die het mineralenconcentraat als meststof gebruiken. De gegevens uit het onderzoek worden ook gebruikt voor het opstellen van technische dossiers van het concentraat. Dit technische dossier wordt gebruikt voor toetsing van de mineralenconcentraten aan de Europese regelgeving voor minerale meststoffen (EG-meststof³) en de nationale regelgeving door toetsing aan het Protocol 'Beoordeling stoffen Meststoffenwet' (Van Dijk et al., 2009⁴).

In 2009 en 2010 zijn in het kader van de pilots de volgende studies uitgevoerd:

- Monitoring van de deelnemende mestverwerkingsinstallaties.
- Landbouwkundige en milieukundige effecten van toepassing van mineralenconcentraten en andere producten uit deze installaties als meststof.
- Gebruikerservaringen en een economische analyse van het gebruik van mineralenconcentraten in de pilot;
- Life Cycle Analysis (LCA).

³ EU (2003) VERORDENING (EG) nr. 2003/2003 VAN HET EUROPEES PARLEMENT EN DE RAAD van 13 oktober 2003 inzake meststoffen.

⁴ Dijk, van T.A., J.J.M. Driessen, P.A.I. Ehlert, P.H. Hotsma, M.H.M.M. Montforts, S.F. Plessius en O. Oenema, 2009. Protocol beoordeling stoffen Meststoffenwet, versie 2.1. Werkdocument 167, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur en Milieu, Wageningen, 74 p.

De pilots zijn eind 2010 met maximaal één jaar verlengd tot eind 2011. In 2011 wordt aanvullend onderzoek uitgevoerd op het gebied van de milieukundige effecten.

Het onderzoek werd gefinancierd door het productschap Zuivel, het productschap Vee en Vlees, het ministerie van EL&I en het ministerie van I&M. De regie van het onderzoek en gerelateerde zaken in de pilot vond plaats door het ministerie van EL&I, het ministerie van I&M, LTO en NVV.

Dit rapport presenteert de resultaten van de laboratoriumproeven naar emissies van ammoniak (NH_3) en lachgas (N_2O) na toediening van mineralenconcentraten aan de bodem, een onderdeel van het onderzoek naar landbouwkundige en milieukundige effecten.

1.2 Ammoniak- en lachgasemissie

De Nederlandse landbouw is een belangrijke bron van ammoniak (NH_3) en lachgas (N_2O). Ammoniak draagt bij aan eutrofiëring en bodemverzuring en lachgas is een broeikasgas en een gas dat bijdraagt aan de aantasting van de ozonlaag. Nederland rapporteert jaarlijks ammoniakemissies aan de Europese Commissie en UNECE en worden deze gegevens gebruikt ter toetsing of Nederland voldoet aan de NEC-richtlijn (NEC: national emission ceilings of nationale emissieplafonds; <http://ec.europa.eu/environment/air/ceilings.htm>) en het Gothenborg-protocol (www.unece.org/env/lrtap/multi_h1.htm). In de NEC-richtlijn worden per EU-lidstaat plafonds toegekend voor zurende stoffen, waaronder ammoniak. Nederland rapporteert daarnaast jaarlijks de broeikasgasemissies, inclusief lachgasemissie, aan de UNFCCC in het kader van de afspraken die zijn gemaakt voor het Kyoto-protocol (www.unfccc.int).

1.2.1 Ammoniakemissie

Ammoniak wordt gevormd uit ammonium (NH_4^+) bij een hoge pH; de ammoniak-concentratie neemt sterk toe bij een pH hoger dan 7. De ammoniakvervluchtiging naar de atmosfeer is een fysisch-chemisch proces, waarvan de snelheid en hoeveelheid vooral door fysische (luchtsnelheid, oppervlak, temperatuur, etc.) en chemische (NH_4^+ -concentratie, pH, ionsterkte, etc.) factoren worden bepaald. Landbouwhuisdieren scheiden feces en urine uit. Urine bevat voornamelijk ureum. Over het algemeen is alle uitgescheiden ureum binnen 24 uur gemineraliseerd tot ammonium (Elzing and Monteny, 1997). Bij de mineralisatie van ureum neemt de pH sterk toe. De combinatie van een hoge pH en een hoog ammoniumgehalte leidt tot een hoog risico op ammoniakemissie uit mest. De stikstof in mineralenconcentraten bestaat gemiddeld voor meer dan 90% uit ammonium en mineralenconcentraten hebben een hoge pH (vaak hoger dan 7,5); het risico op ammoniakemissie na toediening van mineralenconcentraten is dus hoog. Ook het toedienen van ureum-kunstmeststof of ureumhoudende kunstmest, zoals urean, leiden tot een verhoogd risico op ammoniakemissie (Harrison and Webb, 2001). Het toedienen van een ammoniumhoudende kunstmest, zoals zwavelzure ammoniak, aan een kalkrijke grond leidt ook tot ammoniakemissie (Bouwman et al., 2002; Harrison en Webb, 2001; Vermoesen et al., 1992). Het risico op ammoniakemissie bij gebruik van de in Nederland meest gebruikte kunstmeststof kalkammonsalpeter (KAS) is beperkt (Velthof et al., 1990).

In de Nederlandse methodiek voor berekening van ammoniakemissie uit de landbouw worden de volgende emissiefactoren voor kunstmest gebruikt (Huijsmans et al., 2011; Velthof et al., 2009):

- Kalkammonsalpeter: 2% van de toegediende N
- Ureum: 28% van de toegediende N
- Monoammoniumfosfaat: 10% van de toegediende N
- Ammoniumsulfaat: 10% van de toegediende N

Het onderwerken of injecteren van mest in de bodem leidt tot een grote reductie in ammoniakemissie (Huijsmans, 2003). De ammonium wordt hierbij in de bodem gebracht, waardoor enerzijds de uitwisseling van bodemlucht met de atmosfeer wordt geremd en anderzijds een deel van ammonium aan kleideeltjes en organische stof wordt geadsorbeerd. In Nederland worden de volgende emissiefactoren voor ammoniakemissie uit mest gehanteerd (Huijsmans et al., 2011; Velthof et al., 2009):

- Grasland, bovengronds breedwerpig: 74% van de toegediende ammoniumstikstof;
- Grasland, zodebemester: 19% van de toegediende ammoniumstikstof;
- Grasland, sleepvoet: 26% van de toegediende ammoniumstikstof;
- Bouwland, bovengronds breedwerpig: 69% van de toegediende ammoniumstikstof;
- Bouwland, direct onderwerken: 22% van de toegediende ammoniumstikstof;
- Bouwland, diepe injectie: 2% van de toegediende ammoniumstikstof.

1.2.2 Lachgasemissie

Lachgas wordt in de bodem gevormd tijdens de micro-biologische processen nitrificatie en denitrificatie. Nitrificatie is het proces waarbij ammonium wordt omgezet in nitraat. Nitrificatie treedt op onder zuurstofrijke omstandigheden, maar de vorming van N_2O tijdens nitrificatie treedt op onder relatief zuurstofarme omstandigheden (omstandigheden waarbij remming van nitrificatie optreedt). Denitrificatie is het proces waarbij nitraat wordt afgebroken tot de gasvormige stikstofverbindingen luchtstikstof (N_2), lachgas (N_2O) en stikstofoxide (NO_x). Denitrificatie treedt op onder zuurstofloze omstandigheden. Denitrificerende bacteriën hebben een energiebron nodig; dit is in landbouwgronden gemakkelijk afbreekbare organische stof. Denitrificatie is meestal de belangrijkste bron van lachgas.

Er zijn een groot aantal factoren die de lachgasemissie uit landbouwgronden bepalen. Deze zijn te onderscheiden in vier categorieën:

- Factoren die een effect hebben op de gehalten aan minerale stikstof (nitraat en ammonium) in de bodem, zoals bemesting.
- Factoren die een effect hebben op de hoeveelheid afbreekbare organische stof in de bodem, zoals de aanwezigheid van organische stof in een meststof (bv. mest) en gewasrest en het gehalte aan organische stof van de bodem.
- Factoren die een effect hebben op het zuurstofgehalte van de bodem (lachgasemissie treedt op bij lage zuurstofgehalten), zoals neerslag, grondwaterstand en bodemcompactie;
- Overige factoren, zijnde factoren die een effect hebben op activiteit van bacteriën, zoals de temperatuur, pH, zoutsterkte en de aanwezigheid van toxische verbindingen (zware metalen en bepaalde organische verbindingen).

Het ammoniakemissie-arm toedienen van mest leidt tot een hogere lachgasemissie dan oppervlakkig toedienen (Velthof en Mosquera, 2011a). Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door een combinatie van factoren:

- Het injecteren of onderwerken van mest leidt tot minder ammoniakemissie, waardoor er meer stikstof in de bodem terecht komt en het risico op lachgasemissie toeneemt.
- Diepere bodemlagen zijn meestal vochtiger dan de bovenste bodemlaag. Bij het injecteren of onderwerken van mest wordt de mest dus geplaatst in een bodemlaag waarin de omstandigheden voor lachgasvorming gunstiger zijn.
- Bij plaatsing van mest (bv. bij injectie) worden de lokale stikstofconcentraties in de bodem hoger dan bij breedwerpig (oppervlakkige) toediening. De hoge nitraat-, ammonium- of ureumconcentraties kunnen leiden tot remming van de nitrificatie en/of denitrificatie, waardoor meer lachgas kan worden gevormd.

De gemiddelde emissiefactoren voor lachgasemissie in Nederland zijn (Velthof en Mosquera 2011b):

- Kunstmest (inclusief KAS): 1% van de toegediende N voor minerale gronden en 3% voor veengronden.
- Mest, breedwerpig toegediende aan grasland: 0,1% voor minerale gronden en 0,5 % voor veengronden.
- Mest, emissiearm toegediende aan grasland: 0,3% voor minerale gronden en 1,0% voor veengronden.
- Mest, breedwerpig toegediende aan bouwland: 0,6%.
- Mest, emissiearm toegediende aan bouwland: 1,3%.
- Deze emissiefactoren worden vanaf 2011 door Nederland gebruikt voor rapportages van lachgasemissie.

1.3 Doel en hypotheses van het onderzoek

Er zijn drie incubatieproeven uitgevoerd om inzicht te krijgen in het risico op ammoniak- en lachgasemissie bij toepassing van mineralenconcentraten in vergelijking tot andere meststoffen (kunstmest, mest en dikke fractie). Laboratoriumonderzoek geeft een indruk van de verschillen in gasvormige emissies tussen meststoffen (Oenema en Velthof, 1993; Velthof et al., 2005), maar geeft geen kwantitatieve schatting van de emissies die onder veldomstandigheden optreden, omdat factoren als wind, instraling, temperatuur, neerslag en gewasgroei in het veld anders zijn dan in een laboratorium.

Het mineralenconcentraat bestaat uit een ammoniumoplossing met een laag gehalte aan organische N (meestal lager dan 10%) en een hoge pH (hoger dan 7,5). De combinatie van de aanwezigheid van ammonium en een hoge pH leidt tot een risico op ammoniakemissie. Dit risico kan worden beperkt door het concentraat emissiearm toe te dienen. De hypothese was dat het risico op ammoniakemissie bij toediening van mineralenconcentraat hoger is dan bij KAS, maar lager dan die bij ureumhoudende kunstmeststoffen. Er werd ook verwacht dat het risico op ammoniakemissie uit mineralenconcentraten lager is dan die uit onbehandelde mest, omdat de mineralenconcentraten een vloeistof zijn die gemakkelijker in de bodem trekken dan mest. Het risico op ammoniakemissie zal op kleigrond mogelijk iets groter zijn, omdat het concentraat minder snel de bodem in kan dringen en omdat het inwerken in kleigrond vaak moeilijker gaat dan in zandgrond.

vooral bij toepassing op grasland (Velthof et al., 1997). Het risico op lachgasemissie bij mineralenconcentraten is naar verwachting ook lager dan bij dierlijke mest, vooral op bouwland. Dit wordt verwacht omdat het gehalte aan organische stof lager is in mineralenconcentraten dan in mest. Organische stof is de energiebron voor bacteriën die lachgas produceren.

Kunstmest wordt in Nederland oppervlakkig toegediend en mest en mineralenconcentraten moeten emissiearm worden toegediend. In de analyse van de resultaten ligt daarom de nadruk op vergelijking van emissiearm toegediende concentraat met oppervlakkig toegediende kunstmest en emissiearm toegediende mest.

2 Materialen en methoden

2.1 Inleiding

Er zijn drie incubatieproeven bij 20 °C uitgevoerd waarin de ammoniak- en lachgasemissie is bepaald bij toediening van verschillende meststoffen. In paragrafen 2.2, 2.3 en 2.4 wordt de opzet van de drie proeven beschreven. In de proeven 1 en 3 is onderzoek uitgevoerd met grondmonsters van bouwland. De grondmonsters zijn geïncubeerd in afsluitbare flessen (zie foto). In proef 2 zijn grondkolommetjes uit grasland gestoken. Deze kolommetjes zijn in het laboratorium geïncubeerd en de ammoniak- en lachgasemissies⁵ zijn gemeten met kleine fluxkamers (zie foto).



Bepaling van ammoniak- en lachgasemissie uit grondmonsters van bouwland (bovenste foto) en grasland (onderste foto), waaraan meststoffen zijn toegediend.

⁵ Naast NH₃ en N₂O zijn ook CO₂-emissies gemeten. CO₂ kan na toediening van concentraat worden gevormd door afbraak van organische stof of door vrijkomen van opgelost CO₂ (bicarbonaat). De CO₂-emissie na toediening van concentraten aan grond nam toe, maar het is niet duidelijk waardoor (afbraak organische stof of vrijkomen opgelost CO₂). De CO₂-gegevens worden niet gerapporteerd in dit rapport.

Voor achtergronden van de bemonstering en analysemethoden en een beschrijving van de installaties A t/m G worden verwezen naar Hoeksma et al. (2011). Er was nog geen concentraat beschikbaar van bedrijf H tijdens het uitvoeren van de incubatieproeven; het concentraat van dit bedrijf is dus niet onderzocht.

Tabel 1

Samenstelling van de geteste producten.

	N-gehalte	NH ₄ -gehalte	Fractie NH ₄ -N in totaal N	pH
	g N per kg	g N per kg		
Mest A ¹	7,7	4,8	0,62	8,20
Mest B	6,9	4,5	0,65	7,70
Mest C	6,8	4,5	0,66	7,33
Mest D	5,3	2,9	0,54	7,51
Mest E	5,4	3,4	0,64	7,75
Mest F	6,6	4,5	0,69	7,77
Mest G	11,2	6,7	0,60	6,28
Concentraat A	6,6	4,1	0,62	8,58
Concentraat B	7,7	7,4	0,96	7,69
Coconcentraat C	9,1	7,7	0,85	7,89
Concentraat D	5,5	5,1	0,92	7,76
Concentraat E	3,1	2,9	0,92	7,91
Concentraat F	8,3	7,3	0,88	8,04
Concentraat G	11,0	9,5	0,86	7,42
Dikke fractie A	11,1	6,2	0,56	
Dikke fractie B	12,4	5,2	0,42	
Dikke fractie C	12,9	5,1	0,40	
Dikke fractie D	11,1	4,4	0,39	8,21
Dikke fractie E	7,9	3,8	0,48	
Dikke fractie F	13,3	5,8	0,44	
Dikke fractie G	13,4	4,7	0,35	

¹ De mest van installatie A is digestaat uit mestvergisting. In de verdere rapportage wordt dit product 'mest A' genoemd.

2.2 Incubatieproef 1

Het doel van de eerste laboratoriumproef was het kwantificeren van ammoniak- en lachgasemissie bij oppervlakkige en emissie-arme toediening van verschillende meststoffen aan zandgrond van bouwland. De opzet van de eerste proef was als volgt:

- 1 controle (onbemest)
- 3 kunstmesten (KAS, ureum en urean)
- 4 varkensmesten, afkomstig van vier installaties: A, B, C en D. De mest van installatie A is digestaat uit mestvergisting. In de verdere rapportage wordt dit product 'mest A' genoemd.
- 4 mineralenconcentraten (afkomstig van de installaties A, B, C en D)
- 4 dikke fracties (afkomstig van de installaties A, B, C en D)
- 2 toedieningstechnieken: oppervlakkig en inwerken
- Grondsoort: bouwland op zandgrond (afkomstig van het proefveld waarin mineralenconcentraten zijn getest bij aardappelen; Van Geel et al., 2011)

- Vochtgehalte: veldcapaciteit
- stikstofgift overeenkomend met 170 kg totaal N per ha
- 3 herhalingen; in totaal 93 incubatie potten

De grond werd na bemonstering in het veld eerst gedroogd aan de lucht en na het drogen gezeefd over een 10 mm zeef. De incubatieflessen van 1 liter werden gevuld met 600 gram droge grond, waarna het vochtgehalte op veldcapaciteit werd gebracht door toediening van 50 ml water. Het bodemoppervlak in de gevulde incubatieflessen was 69,4 cm². De potten met gronden zijn daarna één week bij 20 °C weggezet om mogelijk effecten van verstoring van grond op lachgasmetingen te voorkomen. Één week na bevochtigen zijn de meststoffen toegediend. Bij het simuleren van onderwerken van mest, werd de helft van de grond uit de potten verwijderd, werd de mest toegediend en werd direct de resterende hoeveelheid grond op de mest geplaatst. De mest werd hierdoor volledig bedekt en lag op ongeveer 5 cm diepte. Tijdens de toediening van de mest werd het vochtgehalte weer op veldcapaciteit gebracht, waarbij rekening werd gehouden met de hoeveelheid vocht die met concentraten en mest werd toegediend.

In totaal werd de ammoniak- en lachgasemissie op twaalf tijdstippen gemeten: ½, 1, 2, 4, 7, 8, 11, 14, 21, 22, 23 en 28 dagen na toediening van de meststoffen. Na de 5^e meting is er een regenbui van 7 mm gesimuleerd en na de 9^e meting een bui van 14 mm, aangezien regen een groot effect heeft op lachgasemissie. De emissies van lachgas en ammoniak zijn gemeten met een Innova photo-acoustic gas analyzer. Bij elk meet-tijdstip werden de flessen met een stop afgesloten, waarna de concentraties van ammoniak en lachgas zijn gemeten in de 'headspace' van de incubatiefles ongeveer één uur na het afsluiten. De emissie van ammoniak en lachgas zijn berekend uit de toename van concentraties in de fles. De totale emissie over de gehele meetperiode is berekend door lineaire interpolatie van de emissies tussen de verschillende meettijdstippen. Het onderzoek is uitgevoerd in mei 2009.

2.3 Incubatieproef 2

Het doel van de tweede proef was het kwantificeren van ammoniak- en lachgasemissie bij emissie-arme toediening van verschillende meststoffen aan drie grondsoorten afkomstig van graslandlocaties. Hiervoor werden graszode gestoken in PVC-kolommetjes van 10 cm doorsnede en 10 cm hoogte. De opzet van de tweede proef was als volgt:

- 1 controle (onbemest)
- 3 kunstmesten (KAS, ureum en urean)
- 4 varkensmesten, afkomstig van de installaties A, B, C en D. Mest A was digestaat uit mestvergisting.
- 4 mineralenconcentraten (afkomstig van de installaties A, B, C en D)
- 3 grondsoorten: grasland op zandgrond, grasland op kleigrond en grasland op veengrond . De zand- en kleigrond zijn afkomstig van de proefvelden met grasland (Van Middelkoop et al., 2011). De veengrond is afkomstig van proefbedrijf Zegveld
- Toedieningstechniek: emissiearm
- Vochtgehalte: veldcapaciteit
- Stikstofgift overeenkomend met 170 kg totaal N per ha
- 3 herhalingen; in totaal 108 incubatie potten

De kolommen met graszode werden na het steken in het veld gedurende één week in een laboratorium bij 20 °C geïncubeerd. Hiervoor werden de cilinders met gras op een schaal met water geplaatst om een constant vochtgehalte te realiseren. Na deze week voorincubatie werden de meststoffen toegediend en startten de metingen. De emissiearme toediening van mest en concentraat werd gesimuleerd door de meststoffen in een snede in de graszode van enkele centimeters diepte te plaatsen (simulatie zodebemesting). In totaal werd de ammoniak- en lachgasemissie op acht tijdstippen gemeten: ½, 1, 2, 4, 7, 8, 11, 14 dagen na toediening van

de meststoffen. Na de 5^e meting is er een regenbui van 7 mm gesimuleerd. Bij elk meettijdstip werden de kolommen met graszode met een pot afgesloten (zie foto), waarna de concentraties van ammoniak en lachgas zijn gemeten in de pot ongeveer één uur na het afsluiten. Het onderzoek is uitgevoerd in september 2009.

2.4 Incubatieproef 3

Het doel en opzet van de derde incubatieproef was hetzelfde als die van de eerste proef. De mesten en concentraten die in deze proef werden getest, waren afkomstig van drie andere installaties dan in de eerste proef, namelijk E, F en G. Dit onderzoek is uitgevoerd in november 2009.

De opzet van de eerste proef was als volgt:

- 1 controle (onbemest)
- 3 kunstmesten (KAS, ureum, urean)
- 3 varkensmesten (afkomstig van drie installaties: E, F, en G)
- 4 mineralenconcentraten (afkomstig van drie installaties: E, F, en G)
- 4 dikke fracties (afkomstig van drie installaties: E, F, en G)
- 2 toedieningstechnieken: oppervlakkig en inwerken
- Grondsoort: bouwland op zandgrond (afkomstig van het proefveld waarin mineralenconcentraten zijn getest bij aardappelen (Van Geel et al., 2011))
- Vochtgehalte: veldcapaciteit
- Stikstofgift overeenkomend met 170 kg totaal N per ha
- 3 herhalingen

Net als in proef 1 werd in totaal de ammoniak- en lachgasemissie op twaalf tijdstippen gemeten: ½, 1, 2, 4, 7, 8, 11, 14, 21, 22, 23 en 28 dagen na toediening van de meststoffen. Ook werd er na de 5^e meting 7 mm water toegediend en na de 9^e meting 14 mm.

2.5 Statistische analyses

De resultaten van elke proef en de data van de gehele data-set zijn statistisch geanalyseerd met het programma SAS 9.13. Gezien de grote spreiding in zowel ammoniak- als lachgasemissies zijn alle emissies log-getransformeerd in de statistische analyses. Aangezien er negatieve emissies in de data-sets zaten, zijn alle waarden voor ammoniak met 10 en lachgas met 20 verhoogd (negatieve waarden kunnen niet worden loggetransformeerd). De verschillen in objecten zijn statistisch geanalyseerd met variantie-analyse (ANOVA) en Least Significant Difference (LSD) test bij een significantieniveau van 0,05.

3 Resultaten

3.1 Incubatieproef 1

3.1.1 Ammoniakemissie

De ammoniakemissie was het hoogst vlak na toediening en nam daarna sterk af (zie de figuren in bijlage 1). De emissies waren veel hoger bij oppervlakkige toediening dan bij inwerken, zowel voor kunstmest als de mestproducten (mest, concentraat en dikke fractie).

Bij oppervlakkige toediening was de ammoniakemissie na toediening van concentraat gemiddeld een 1,4 hoger dan die van oppervlakkig toegediende varkensmest (dit verschil was statistisch significant; $P < 0,05$). De emissie na oppervlakkige toediening van ureum was vergelijkbaar met die van oppervlakkig toegediende varkensmest en iets lager dan die van oppervlakkig toegediend concentraat. De emissies van oppervlakkig toegediende KAS en urean waren laag. De ammoniakemissie uit oppervlakkig toegediende dikke fractie was gemiddeld lager dan die uit varkensmest en concentraat (dit verschil was statistisch significant; $P < 0,05$). De gemiddelde ammoniakemissie uit oppervlakkig toegediende dikke fractie kwam ongeveer overeen met een derde van de ammoniakemissie uit oppervlakkig toegediende mest.

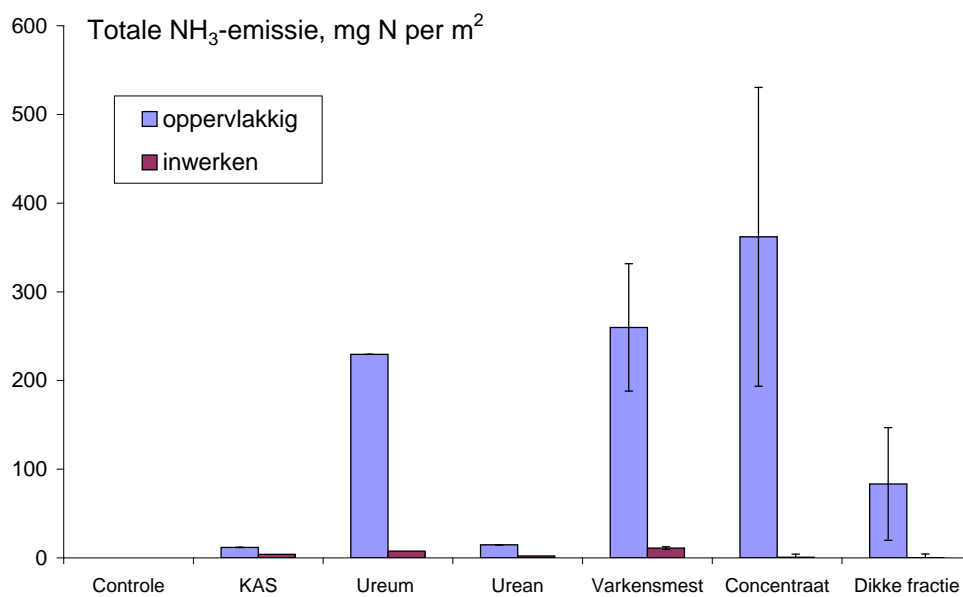
Na het inwerken van concentraat trad er geen ammoniakemissie op (tabel 2). Bij ingewerkte varkensmest werd een lage ammoniakemissie gemeten. De lage emissies bij inwerken van concentraat en mest geven aan dat het inwerken tot een forse reductie van de ammoniakemissie heeft geleid. Onder veldomstandigheden leidt diepe bouwlandinjectie ook tot een forse reductie van de ammoniakemissie (zie paragraaf 1.2.1).

De ammoniakemissie bij oppervlakkige toediening was het hoogst bij concentraat C en het laagst bij concentraat B (tabel 2). De emissie bij concentraat D was vergelijkbaar met die van C en die van concentraat A was lager die van D en C, maar hoger dan die van B. Er zijn statistische analyses uitgevoerd om na te gaan of de verschillen in ammoniakemissie konden worden verklaard uit verschillen in mestsamenstelling. In de analyse konden geen statistisch significante effecten van samenstelling op de ammoniakemissie worden vastgesteld. Dit wordt veroorzaakt doordat er maar vier concentraten zijn getest, terwijl er meerdere factoren een rol spelen (het aantal getest concentraten is te klein om een relatie te leggen tussen samenstelling en emissies).

Tabel 2

Totale ammoniak- en lachgasemissie in incubatieproef 1 (grondmonsters bouwland op zandgrond).

Behandeling	Ammoniakemissie, mg N/m ²		Lachgasemissie, mg N/m ²	
	Oppervlakkig	Inwerken	Oppervlakkig	Inwerken
Controle	0	0	0	0
KAS	12	4	5	30
Ureum	229	8	156	248
Urean	15	2	76	47
Mest	285	12	53	97
Concentraat A	360	0	18	179
Dikke fractie A	173	0	12	15
Mest B	316	13	78	124
Concentraat B	125	0	11	129
Dikke fractie B	84	0	0	86
Mest C	284	9	31	82
Concentraat C	493	6	27	167
Dikke fractie C	45	6	8	43
Mest D	155	10	193	297
Concentraat D	470	0	63	111
Dikke fractie D	32	0	431	646

**Figuur 1**

Totale ammoniakemissie na oppervlakkige toediening en inwerken van KAS, ureum, urean, varkensmest, concentraat en dikke fractie aan zandgrond van bouwland (incubatieproef 1). De resultaten van varkensmest, concentraat en dikke fractie zijn het gemiddelde van de vier mestverwerkingsinstallaties (\pm standaarddeviatie).

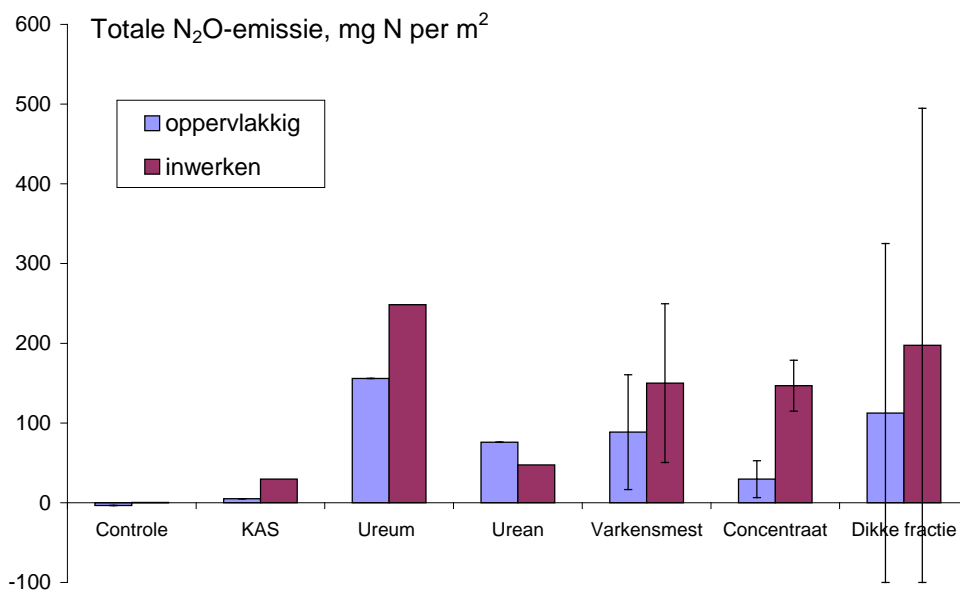
3.1.2 Lachgasemissie

De lachgasemissie na toediening concentraat was het hoogst vlak na toediening en nam daarna af tot een laag en relatief constant niveau (zie figuren in bijlage 1). Het inwerken van de mestproducten en kunstmest (behalve urean) leidde tot een toename van lachgasemissie ten opzichte van oppervlakkige toediening (bijlage 2 en tabel 1).

De lachgasemissie van concentraat A en C was hoger dan die van mesten A en C, die van concentraat D was lager dan die van mest D en die van concentraat B was vergelijkbaar met die van mest B. Gemiddeld over de vier mestverwerkingsinstallaties zijn de lachgasemissies uit ingewerkte mest, concentraat en de dikke fractie gelijk (figuur 2). De lachgasemissie van dikke fractie D veel hoger dan die van de overige vaste mesten en andere producten (bijlage 2 en tabel 1). Het is niet duidelijk wat de oorzaak is van de hoge emissie uit dikke fractie D.

De lachgasemissie na toediening van ureum was hoger dan die van de andere kunstmesten en ook dan die van de mestproducten. Het grote (en statistisch significante) verschil in lachgasemissie tussen ureum en het nitraathoudende KAS, duidt er op dat niet denitrificatie maar nitrificatie de belangrijkste bron van N_2O was in deze proef. De lachgasemissie na toediening van KAS was lager dan die van concentraten, mest en de dikke fractie.

Net zoals bij ammoniakemissie, konden de verschillen in lachgasemissie tussen de mesten niet worden verklaard door de samenstelling.



Figuur 2

Totale lachgasemissie na oppervlakkige toediening en inwerken van KAS, ureum, urean, varkensmest, concentraat en dikke fractie aan zandgrond van bouwland (incubatieproef 1). De resultaten van varkensmest, concentraat en dikke fractie zijn het gemiddelde van de vier mestverwerkingsinstallaties (\pm standaarddeviatie).

3.2 Incubatieproef 2

3.2.1 Ammoniakemissie

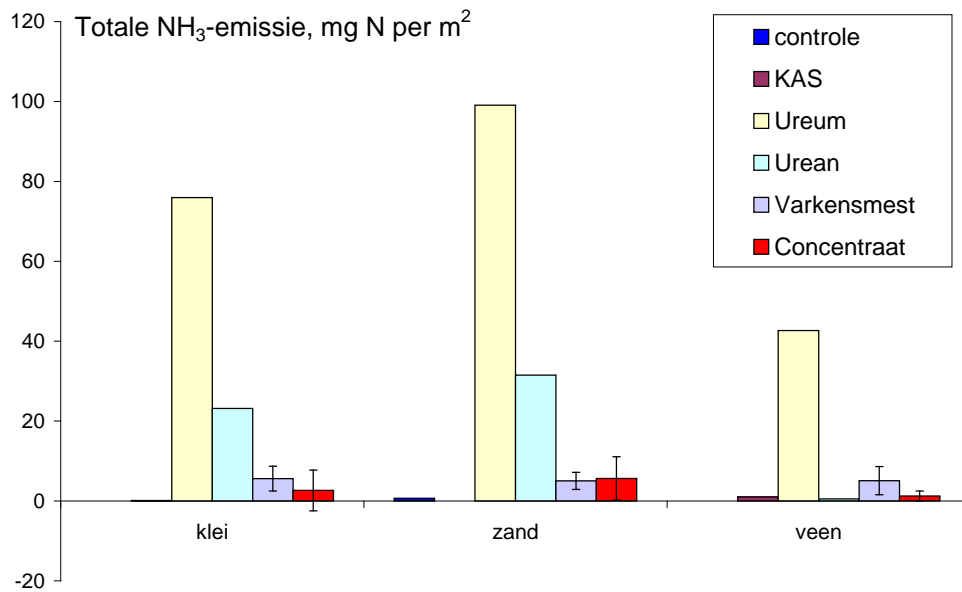
Mest en concentraat waren in deze proef emissiearm toegediend (in een snede enkele cm diep; simulatie zodebemesting). Dit heeft in een lage ammoniakemissie geresulteerd voor zowel mest als concentraat. De ammoniakemissie was lager bij emissiearm toegediend mineralenconcentraten dan bij oppervlakkig toegediend ureum (zie bijlage 3) en urean (nb. de ammoniakemissie na toediening van urean op veengrond was ook laag). Er trad geen of een verwaarloosbare ammoniakemissie op na oppervlakkig toediening van KAS. De verschillen in ammoniakemissie tussen concentraten en mesten zijn klein en er waren ook geen duidelijke verschillen in ammoniakemissie tussen de drie grondsoorten. Gemiddeld over alle grondsoorten was de ammoniakemissie van oppervlakkig toegediende ureum statistisch significant ($P < 0,05$) hoger dan die uit de andere kunstmesten en de mestproducten. De ammoniakemissie van oppervlakkig toegediende urean was statistisch significant hoger dan van KAS en de mestproducten. Gemiddeld over alle grondsoorten was de ammoniakemissie uit toegediend concentraat statistisch significant lager dan die uit varkensmest.

De ammoniakemissie na toediening van concentraat C was hoger dan die na toediening van de overige concentraten. De ammoniakemissie van concentraat C was ook het hoogst bij oppervlakkige toediening aan bouwland (zie incubatieproef 1 in vorige paragraaf). Net zoals in de vorige proef konden verschillen in ammoniakemissie tussen concentraten echter niet worden verklaard uit verschillen in samenstelling van concentraten.

Tabel 1

Totale ammoniak- en lachgasemissie in incubatieproef 2 (grondmonsters grasland).

	Ammoniakemissie, mg N/m ²			Lachgasemissie, mg N/m ²		
	Klei	Zand	Veen	Klei	Zand	Veen
Controle	0	1	0	0	88	716
KAS	0	0	1	114	386	1117
Ureum	76	99	43	147	105	890
Urean	23	32	1	217	204	703
Mest A	8	8	8	148	348	998
Concentraat A	0	3	1	290	585	1384
Mest B	1	3	1	146	151	701
Concentraat B	0	0	0	329	384	1154
Mest C	7	4	8	200	326	604
Concentraat C	10	13	3	254	344	1296
Mest D	6	5	4	101	321	656
Concentraat D	0	7	1	292	439	1166



Figuur 3

Totale ammoniakemissie na oppervlakkige toediening KAS, ureum en urean en emissie-arm toediening van varkensmest en concentraat aan grasland van zand-, klei- en veengrond (incubatieproef 2). De resultaten van varkensmest en concentraat en dikke fractie zijn het gemiddelde van de vier mestverwerkingsinstallaties (\pm standaarddeviatie).

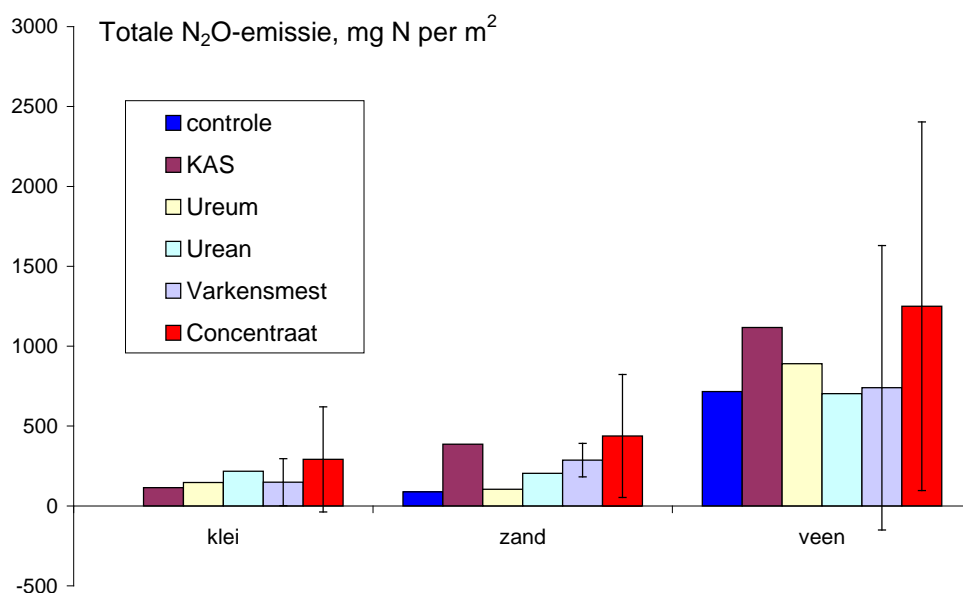
3.2.2 Lachgasemissie

De lachgasemissie nam toe na toediening van concentraten (zie bijlage 4). Het toedienen van water (simuleren regenbui) leidde tot een toename van de lachgasemissie bij alle objecten (bijlage 4). De N₂O-gasemissie nam toe in de volgorde klei < zand < veen. Het verschil tussen grondsoorten was statistisch significant ($P < 0,05$). Deze volgorde is waarschijnlijk gerelateerd is aan het organische stofgehalte (denitrificatiecapaciteit) van de gronden.

De lachgasemissie na toediening van concentraten was voor alle drie grondsoorten hoger dan bij toediening van mest (tabel 3 en figuur 4). Gemiddeld over de vier concentraten en mesten, was de lachgasemissie na toediening van concentraat een factor 2, 1.5 en 1.7 hoger dan die na toediening van varkensmest, voor respectievelijk kleigrond, zandgrond en veengrond. Gemiddeld over de grondsoorten was het verschil in lachgasemissie tussen concentraat en varkensmest statistisch significant ($P < 0,05$).

Op de kleigrond waren de lachgasemissies na toediening van concentraten hoger dan die na toediening van KAS. Op zandgrond was de lachgasemissie na toediening van concentraat A en D hoger dan na toediening van Kas, die van B gelijk aan KAS en die van C iets lager dan KAS. Op veengrond was de lachgasemissie na toediening van concentraten gelijk of iets hoger dan die van KAS. Gemiddeld over alle grondsoorten en concentraten was de lachgasemissie na toediening van concentraat vergelijkbaar (en niet statistisch verschillend) met de emissie van KAS. De lachgasemissie na toediening van ureum en urean waren statistisch significant lager dan die van concentraat.

In een statistische analyse konden geen relaties worden vastgesteld tussen de samenstelling van de concentraten en de lachgasemissie.



Figuur 4

Totale lachgasemissie na oppervlakkige toediening KAS, ureum en urean en emissie-arm toediening van varkensmest en concentraat aan grasland van zand-, klei- en veengrond (incubatieproef 2). De resultaten van varkensmest en concentraat en dikke fractie zijn het gemiddelde van de vier installaties (\pm standaarddeviatie).

3.3 Incubatieproef 3

3.3.1 Ammoniakemissie

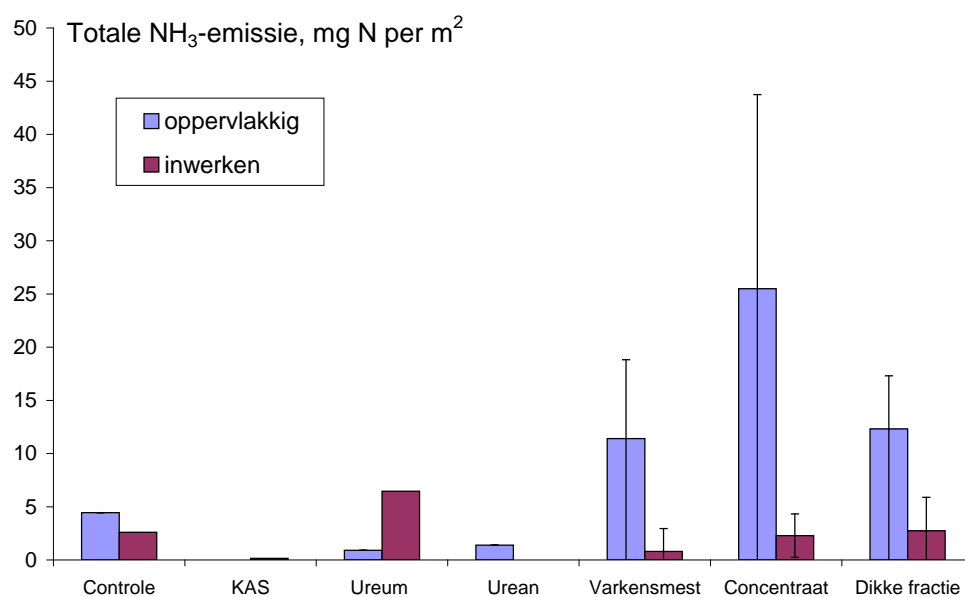
De resultaten van deze proef staan in tabel 4 en bijlage 5. Opmerkelijk is dat zowel de ammoniakemissie als lachgasemissie (veel) lager zijn dan de emissies in incubatieproef 1 (tabel 2). Dit geldt ook voor de kunstmesten, waarvan in beide proeven de emissie is bepaald. Het is niet duidelijk waardoor deze verschillen in emissie tussen beide proeven zijn veroorzaakt. De grondsoort was hetzelfde. Een mogelijke reden voor de lagere lachgasemissie zou kunnen zijn dat de grond was opgeslagen gedurende een half jaar, waardoor de biologische activiteit is afgenomen. Dit zou bij lachgas een rol kunnen spelen, maar het is echter niet aannemelijk dat veranderingen in biologische activiteit ook een rol heeft gespeeld bij ammoniakemissie.

De resultaten laten zien dat de totale ammoniakemissie bij oppervlakkige toediening van concentraat iets hoger was dan bij oppervlakkig toegediende varkensmest, maar de totale emissie was laag (figuur 5) en niet statistisch significant verschillend ($P < 0,05$). Inwerken van concentraat resulteerde in een statistisch significant lagere emissie dan oppervlakkige toediening. Er was geen statistisch significant verschil in ammoniakemissie tussen ingewerkt concentraat en oppervlakkig toegediende KAS, maar de emissie van oppervlakkig toegediend concentraat was statistisch significant hoger dan oppervlakkig toegediende KAS ($P < 0,05$). De ammoniakemissie na toediening van ureum was laag en niet statistisch significant verschillend ten opzichte van de ammoniakemissie na toediening van concentraten. Het is niet duidelijk waarom de ingewerkte ureum tot een hogere ammoniakemissie leidde dan oppervlakkig toegediende ureum.

Tabel 4

Totale ammoniak- en lachgasemissie in incubatieproef 3 (grondmonsters bouwland op zandgrond).

Behandeling	Ammoniakemissie, mg N/m ²		Lachgasemissie, mg N/m ²	
	Oppervlakkig	Inwerken	Oppervlakkig	Inwerken
Controle	4	3	0	-2
KAS	0	0	4	4
Ureum	1	6	135	74
Urean	1	-2	38	16
Mest E	11	-1	18	18
Concentraat E	7	2	24	12
Dikke fractie E	11	4	190	295
Mest F	4	0	30	3
Concentraat F	27	5	65	17
Dikke fractie F	18	-1	39	59
Mest G	19	3	17	19
Concentraat G	43	1	17	6
Dikke fractie G	8	5	41	66

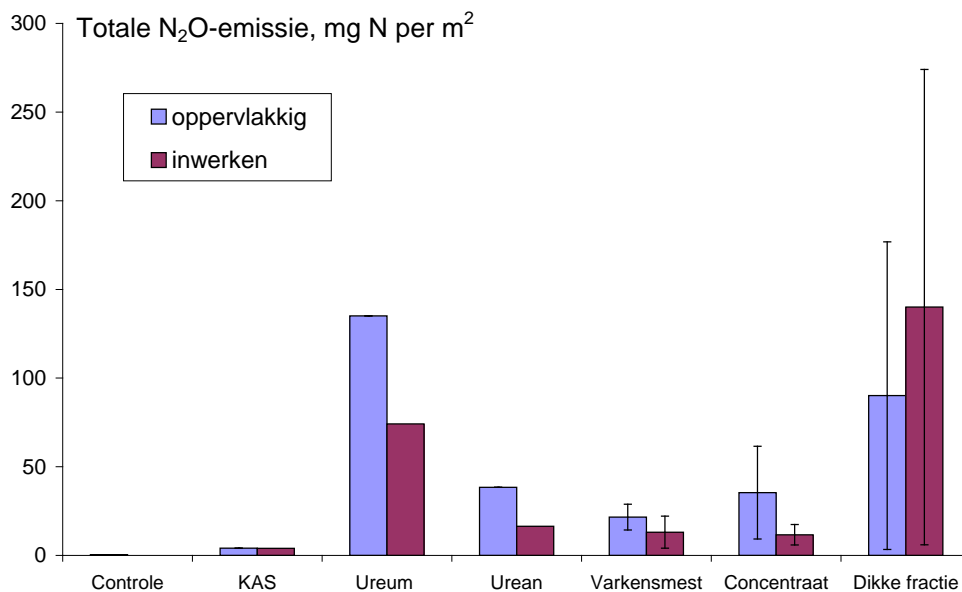
**Figuur 5**

Totale ammoniakemissie na oppervlakkige toediening en inwerken van KAS, ureum, urean, varkensmest, concentraat en dikke fractie aan zandgrond van bouwland (incubatieproef 3). De resultaten van varkensmest, concentraat en dikke fractie zijn het gemiddelde van de drie mestverwerkingsinstallaties (\pm standaarddeviatie).

3.3.2 Lachgasemissie

De lachgasemissie na toediening van concentraat was het hoogst vlak na toediening en nam daarna af tot een laag en relatief constant niveau (zie figuren in bijlage 6). Het inwerken van de mestproducten leidde tot een toename van lachgasemissie ten opzichte van oppervlakkige toediening (bijlage 2 en tabel 1). In tegenstelling tot de andere meststoffen leidde inwerken van ureum en urean tot een lagere lachgasemissie dan het oppervlakkig toedienen.

De lachgasemissie uit toegediende concentraten en mesten waren laag en vergelijkbaar (en niet statistisch significant verschillend). De lachgasemissie na toediening van de dikke fractie was hoger en vooral de lachgasemissie van dikke fractie E. De lachgasemissie na toediening van ureum was hoger dan die van de andere kunstmesten en ook dan die van de varkensmest en concentraten. De lachgasemissie na toediening van ureum en dikke fractie was statistisch significant hoger dan de emissie van de andere kunstmesten en mestproducten; zowel bij oppervlakkige toediening als bij inwerken. Het grote verschil in lachgasemissie tussen ureum en het nitraathoudende KAS duidt er op dat niet denitrificatie maar nitrificatie de belangrijkste bron van lachgas was in deze proef. De lachgasemissie na toediening van KAS was lager dan die van concentraten, mest en de dikke fractie. De verschillen in lachgasemissie tussen de mesten kon ook niet worden verklaard door de samenstelling.



Figuur 6

Totale lachgasemissie na oppervlakkige toediening en inwerken van KAS, ureum, urean, varkensmest, concentraat en dikke fractie aan zandgrond van bouwland (incubatieproef 3). De resultaten van varkensmest, concentraat en dikke fractie zijn het gemiddelde van de vier mestverwerkingsinstallaties (\pm standaarddeviatie).

3.4 Synthese van resultaten

In de praktijk worden de kunstmesten oppervlakkig toegediend en moeten de mestproducten (mest, concentraat en dikke fractie) emissie-arm worden toegediend. In alle proeven zijn de emissies bepaald van oppervlakkig toegediende kunstmesten en emissie-arm toegediende mestproducten. Er was een grote spreiding in emissie per meststof, die wordt veroorzaakt door de grote verschillen in emissies tussen de

proeven en vooral door de lage emissies in proef 3. Uit de statistische analyse van alle data van emissies uit oppervlakkig toegediende kunstmest en ingewerkte mestproducten in de drie proeven volgt voor ammoniakemissie:

- De ammoniakemissie uit oppervlakkig toegediende ureum is statistisch significant hoger dan de emissies van andere meststoffen ($P < 0,05$).
- De ammoniakemissie van ingewerkt concentraat is gelijk aan die van oppervlakkig toegediende KAS en urean en ingewerkte dikke fractie
- De ammoniakemissie van ingewerkt concentraat is statistisch significant lager dan die van ingewerkte mest ($P < 0,05$).
- De ammoniakemissie van oppervlakkig toegediende KAS is statistisch significant lager dan die van oppervlakkig toegediende ureum en urean ($P < 0,05$).
- De ammoniakemissie van ingewerkte mest is statistisch significant hoger dan die van ingewerkte dikke fractie ($P < 0,05$).

Voor lachgasemissie geldt:

- Ingewerkt concentraat resulteert in een statistisch significant ($P < 0,05$) hogere lachgasemissie dan oppervlakkig toegediende KAS en ingewerkte mest en dikke fractie. Er is geen statistisch significant verschil in lachgasemissie tussen ingewerkt concentraat en oppervlakkig toegediend ureum en urean.
- De lachgasemissie van ingewerkte mest is statistisch significant ($P < 0,05$) hoger dan ingewerkte dikke fractie.
- De lachgasemissie van ingewerkte dikke fractie is statistisch significant ($P < 0,05$) lager dan die van ingewerkte mest en concentraat en oppervlakkig toegediende ureum. Er is geen verschil met de lachgasemissie uit oppervlakkig toegediende KAS en urean.

4 Discussie en conclusies

4.1 Ammoniakemissie

De eerste hypothese was dat het risico op ammoniakemissie bij toediening van mineralenconcentraat hoger is dan bij KAS, maar lager dan die bij ureumhoudende kunstmeststoffen. De over alle proeven gemiddelde ammoniakemissie na oppervlakkige toediening van KAS was verwaarloosbaar laag en gelijk aan die van het gemiddelde van de emissiearm toegediende mineralenconcentraten. De ammoniakemissie van oppervlakkig toegediende ureum was statistisch significant ($P < 0,05$) hoger dan emissiearm toegediend mineralenconcentraat en oppervlakkig toegediende KAS. Het is bekend dat het toedienen van ureumhoudende kunstmest kan leiden tot een hoge ammoniakemissie (Harrison and Webb, 2001; Sommer et al., 2004).

De tweede hypothese was dat het risico op ammoniakemissie uit mineralenconcentraten lager is dan die uit onbehandelde mest, omdat de mineralenconcentraten een vloeistof zijn die gemakkelijker in de bodem trekken dan mest. Verder werd verwacht dat het risico op ammoniakemissie op kleigrond groter is, omdat het concentraat minder snel in een kleigrond dan in een zandgrond kan indringen. Daarnaast bevatten de (zee-) kleigronden vaak kalk. De ammoniakemissie na oppervlakkige toediening van mineralenconcentraten was vergelijkbaar met die van oppervlakkig toegediende varkensmest (tabellen 2 en 4; figuur 7). Het mineralenconcentraat is dus een meststof met een hoog risico op ammoniakemissie. Dit wordt veroorzaakt door de combinatie van een hoog gehalte aan ammonium en een hoge pH (hoger dan 7,5; zie tabel 1). Het emissiearm toedienen van mineralenconcentraat aan zandgrond van bouwland leidde tot een forse reductie van de ammoniakemissie, net zoals varkensmest. Ook in de tweede proef, waarin de concentraten en mest emissie-arm waren toegediend aan gras, was de ammoniakemissie laag. Er werden echter geen duidelijke effecten van grondsoort gevonden op ammoniakemissie uit concentraten. Blijkbaar heeft de grondsoort (en vooral de pH) geen effect op de ammoniakemissie bij emissiearm toegediende concentraten. De gemiddelde ammoniakemissie bij emissiearm toedienen van concentraat was statistisch significant lager dan die van emissiearm toegediende varkensmest. Met een juiste toedieningstechniek kan de ammoniakemissie van mineralenconcentraten dus fors worden verminderd. Er wordt momenteel in de praktijk geëxperimenteerd met verschillende toedieningstechnieken om mineralenconcentraat emissie-arm toe te dienen (Huijsmans en Hol, 2011).

Er waren verschillen in ammoniakemissie tussen de geteste mineralenconcentraten, maar er kon echter geen relatie worden vastgesteld tussen de samenstelling van de mineralenconcentratie en de ammoniakemissie. Dit werd waarschijnlijk veroorzaakt doordat er maar vier concentraten werden tests in elke proef, terwijl er drie factoren een effect hebben op de ammoniakemissie, namelijk:

- i. het totaal stikstofgehalte van het concentraat. Hoe lager het stikstofgehalte, hoe meer concentraat er moet worden toegediend bij een bepaalde stikstofgift. De ammoniakemissie zal waarschijnlijk afnemen bij lagere stikstofgehalten, omdat als er dan meer concentraat wordt toegediend, het concentraat dieper in de bodem kan dringen.
- ii. het aandeel ammoniumstikstof in totaal stikstof; hoe meer ammoniumstikstof hoe hoger het risico op ammoniakemissie.
- iii. de pH van het concentraat; hoe hoger de pH hoe hoger het risico op ammoniakemissie.

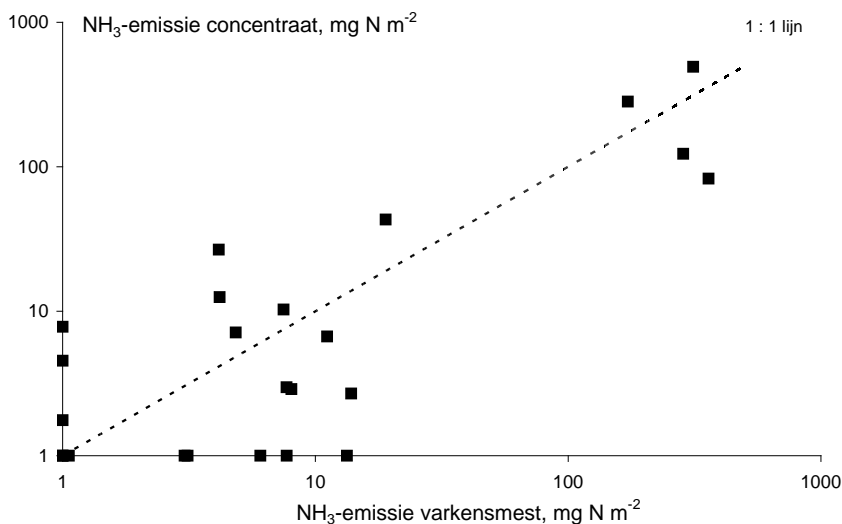
Naast emissie-arme toediening, kan het risico op ammoniakemissie na toediening van mineralenconcentraten ook worden beperkt door het aanzuren van het concentraat. In een studie van Bussink et al. (1994) werd de ammoniakemissie uit dunne rundermest oppervlakkig toegediend aan grasland met 85, 72 and 55% gereduceerd door aanzuren van mest tot respectievelijk een pH van 4,5, 5,0 and 6,0. Het moet wel worden aangegeven dat er verschillende nadelen kleven aan aanzuren, zoals schuimvorming, benodigde hoeveelheid

zuur (en veiligheidsaspecten bij gebruik van zuur) en het feit dat er met zuur ook een anion (sulfaat, nitraat, chloor of organische anionen) wordt toegediend die tot bepaalde effecten kan leiden.

De ammoniakemissie uit toegediende dikke fractie was gemiddeld lager dan die uit varkensmest en concentraat. In de eerste proef was de gemiddelde ammoniakemissie uit oppervlakkig toegediende dikke fractie gelijk aan ongeveer een derde van de ammoniakemissie uit oppervlakkig toegediende mest. De ammoniakemissie uit oppervlakkig toegediende dikke fractie was hoger dan die van ingewerkte varkensmest. Het onderwerken van de dikke fractie leidde tot een reductie van de ammoniakemissie.

Het onderzoek is uitgevoerd in incubatieproeven, waardoor de ammoniakemissies veel lager zijn dan de emissies die in het veld worden gemeten (onder andere door de afwezigheid van wind). Door het vergelijken van de resultaten van de mineralenconcentraten met de referentie kunstmesten en onbehandelde varkensmest (meststoffen waarvan gegevens zijn over emissies onder veldomstandigheden) kunnen enkele conclusies worden getrokken die ook van toepassing zullen zijn onder veldomstandigheden:

- Het mineralenconcentraat is een meststof met een hoog risico op ammoniakemissie en bij het niet of onvoldoende emissiearm toedienen is de ammoniakemissie hoog.
- De totale ammoniakemissie bij toediening van concentraat is vergelijkbaar met die van varkensmest bij dezelfde gift aan totaal stikstof. Aangezien het aandeel ammoniumstikstof in totaal stikstof hoger is in mineralenconcentraten dan in varkensmest is de ammoniakemissiefactor uitgedrukt in procent van de toegediende ammoniumstikstof lager bij concentraten dan bij varkensmest.
- Bij bouwlandinjectie (een techniek die resulteert in een forse reductie in ammoniakemissie) is de ammoniakemissie van mineralenconcentraten vergelijkbaar met die van oppervlakkig toegediende KAS. Bij toedieningstechnieken die minder sterk ammoniakemissie reduceren is de ammoniakemissie bij mineralenconcentraten hoger dan bij KAS.
- De ammoniakemissie van oppervlakkig toegediende ureum is hoger dan van emissiearm toegediende mineralenconcentraat.
- De ammoniakemissie uit oppervlakkig toegediende dikke fractie was gemiddeld lager dan die uit varkensmest en concentraat, maar is niet verwaarloosbaar. De ammoniakemissie uit oppervlakkig toegediende dikke fractie was hoger dan die van ingewerkte varkensmest. Inwerken van de dikke fractie leidt tot een vermindering van de ammoniakemissie.



Figuur 7

Ammoniakemissie na toediening van mineralenconcentraat versus de ammoniakemissie na toediening van varkensmest, resultaten van alle toedieningstechnieken uit proeven 1-3. De ammoniakemissie is op logaritmische schaal uitgezet. Negatieve emissies zijn op 1 gesteld.

4.2 Lachgasemissie

De eerste hypothese bij lachgasemissie was dat het risico bij toediening van mineralenconcentraten lager is dan bij KAS, omdat bekend is dat nitraathoudende kunstmest een hoger risico op lachgasemissie heeft dan ammoniumhoudende meststoffen (zoals mineralenconcentraten), met name bij toepassing op grasland (Velthof et al., 1997). Ingewerkt concentraat resulteerde gemiddeld over alle proeven in een statistisch significant ($P < 0,05$) hogere lachgasemissie dan oppervlakkig toegediende KAS. Er was geen statistisch significant verschil in lachgasemissie tussen ingewerkt concentraat en oppervlakkig toegediend ureum en urean.

De tweede hypothese was dat het risico op lachgasemissie bij mineralenconcentraten lager was dan bij dierlijke mest, vooral op bouwland. Dit werd verwacht omdat het gehalte aan organische stof lager is in mineralenconcentraten dan in mest. Organische stof is de energiebron voor bacteriën die lachgas produceren. Gemiddeld over alle proeven en toedieningstechnieken was de lachgasemissie bij toepassing van concentraat ongeveer een factor 1,5 hoger dan die bij onbehandelde mest (zie figuur 8). Dit verschil was statistisch significant. In proef 1, met grond van bouwland, was de lachgasemissie van mineralenconcentraat gemiddeld vergelijkbaar met die van varkensmest, maar er waren grote verschillen tussen de producten. De lagere gift van organische stof met concentraat dan met varkensmest heeft dus niet duidelijk geleid tot een lagere lachgasemissie. Blijkbaar speelden andere factoren dan organische stof een grotere rol bij de productie van lachgas (bijvoorbeeld het aandeel ammonium in stikstof).

Toediening van mineralenconcentraat leidt dus tot een relatief hoge lachgasemissie, met name als het concentraat-emissie arm is toegediend. Er spelen een groot aantal factoren die een rol bij lachgasemissie uit bodems (zie paragraaf 1.2.2), waardoor een eenduidige verklaring voor de relatief hoge lachgasemissie bij toediening mineralenconcentraten moeilijk te geven is. In proef 1 was de lachgasemissie van mineralenconcentraat vergelijkbaar met die van varkensmest en lager dan ureum. De lachgasemissie van KAS was lager dan die van ureum, varkensmest en mineralenconcentraat in deze proef. Dit verschil in lachgasemissie tussen ureum en het nitraathoudende KAS, duidt er op dat niet denitrificatie maar nitrificatie de belangrijkste bron van lachgas was in deze proef. Het is bekend dat in urineplekken in grasland veel lachgas kan worden gevormd (Oenema et al., 1997; Van Groenigen et al., 2005). Dit wordt veroorzaakt doordat nitrificatie geremd wordt bij hoge ammoniakconcentraties in de bodem, waarbij er relatief veel lachgas kan worden gevormd. Bij ureum, varkensmest en mineralenconcentraat kunnen de ammoniakconcentraties in de bodem hoog worden, zodat remming van nitrificatie door een hoge ammoniakconcentratie mogelijk een rol heeft gespeeld in proef 1.

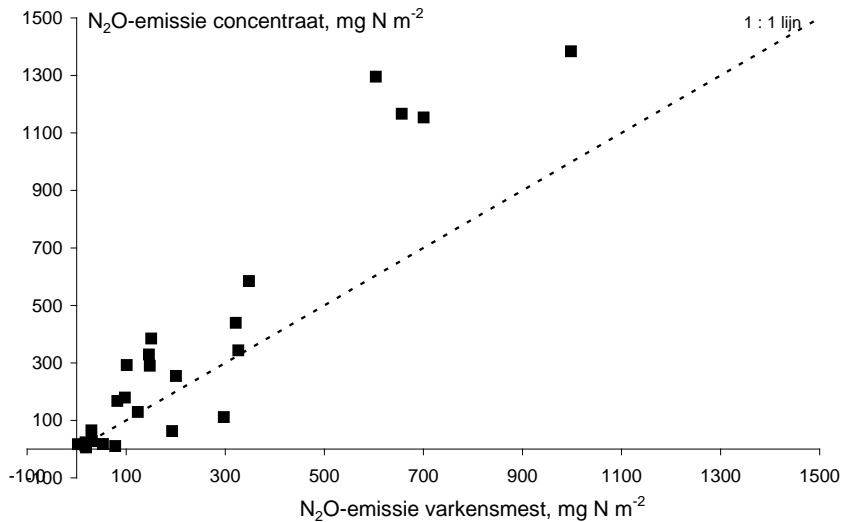
In proef 2 was de lachgasemissie na emissie-arme toediening van mineralenconcentraat en oppervlakkige toediening van KAS vergelijkbaar en hoger dan die van varkensmest en ureum op zand en veengrond. De relatief hoge emissie van KAS duidt op denitrificatie van lachgas en die van concentraat duidt op nitrificatie als bron van lachgas. Beide processen kunnen gelijktijdig optreden in de bodem. Op kleigrond was de lachgasemissie van KAS lager dan die van mineralenconcentraat.

Een andere factor die mogelijk een rol heeft gespeeld bij lachgasemissie is de aanwezigheid van gemakkelijk afbreekbare organische stof. Varkensmest en dikke fractie bevatten gemakkelijke afbreekbare organische stof, vaak in de vorm van vluchtige vetzuren. Mogelijk dat mineralenconcentraten ook vluchtige vetzuren bevatten (het gehalte aan vetzuren wordt in het onderzoek in 2011 bepaald). Het is bekend dat vluchtige vetzuren een gemakkelijke beschikbare energiebron zijn voor denitrificerende bacteriën (Paul en Beauchamp, 1989), waardoor toediening van mest die vluchtige vetzuren bevat kan leiden tot verhoogde denitrificatie en lachgasemissie uit al in de bodem aanwezige nitraat. In enkele figuren uit de bijlagen (zij bijvoorbeeld bijlage 2) is inderdaad een verhoogde lachgasemissie te zien in de eerste dagen na toediening van mestproducten.

Het inwerken van concentraat leidt net zoals het inwerken van mest tot een hoger lachgasemissie ten opzichte van oppervlakkige toediening. Zoals in de inleiding is beschreven zijn er verschillende factoren die hierbij een rol spelen zoals i) de hogere stikstofgift aan de bodem door de lagere ammoniakemissie, ii) het plaatsen van

stikstof in diepere lagen, die zuurstofarmer zijn (gunstig voor lachgasproductie) en iii) de lokaal hoge concentraties van stikstof bij injectie en plaatsing.

Er waren verschillen in lachgasemissie tussen mineralenconcentraten. Er konden echter statistisch significante effecten van samenstelling op de lachgasemissie worden vastgesteld. Bij de emissie van lachgas spelen meer factoren rol dan bij ammoniak, zoals totaal N, het aandeel ammoniumstikstof in totaal stikstof, de pH, de aanwezigheid van afbreekbare organische stof, zoutsterkte en mogelijke aanwezigheid van stoffen die de microbiële processen denitrificatie en nitrificatie beïnvloeden.



Figuur 8

Lachgasemissie na toediening van mineralenconcentraat versus de lachgasemissie na toediening van varkensmest, resultaten van alle toedieningstechnieken uit proeven 1-3.

Net zoals voor het ammoniakonderzoek geldt voor het lachgasonderzoek dat de resultaten uit incubatieproeven niet rechtstreeks mogen worden vertaald naar veldomstandigheden. De lachgasemissie die bepaald wordt in incubatieproeven is vaak hoger dan de emissie die in het veld optreedt, omdat er geen stikstofopname door het gewas is en het vochtgehalte vaak relatief hoog is. Door het vergelijken van de resultaten van de mineralenconcentraten met de referentie kunstmesten en onbehandelde varkensmest kunnen enkele conclusies worden getrokken die ook van toepassing zullen zijn onder veldomstandigheden:

- De lachgasemissie bij ammoniakemissie-arme toediening van concentraat is in veel gevallen hoger ten opzichte van KAS en onbehandelde varkensmest.
- Toedieningstechnieken die tot een sterke reductie van ammoniakemissie van mineralenconcentraten leiden, resulteren vaak in een hogere lachgasemissie uit mineralenconcentraten.
- Indien concentraat vluchtige vetzuren bevat (wordt geanalyseerd in 2011) dan kan de aanwezigheid van deze gemakkelijke afbreekbare organische verbindingen leiden tot een verhoogde lachgasemissie.
- Gezien het grote aantal factoren die een rol spelen bij de vorming van lachgas zijn geen eenduidige oplossingen te geven om de lachgasemissie te beperken. Maatregelen die de lachgasemissie beperken zijn o.a. het niet bemesten onder natte omstandigheden, het op maat bemesten (dus voorkomen van hoge stikstofgehalten in de bodem), en/of het toevoegen van nitrificatieremmers aan concentraat.

Als er lachgas wordt gevormd, wordt er ook luchtstikstof (N₂) en stikstofoxiden (NO_x) gevormd. Dit geldt onder omstandigheden dat denitrificatie de belangrijkste bron van lachgas is. Een hoge lachgasemissie kan dus duiden op een hoog stikstofverlies, hetgeen de stikstofwerking van concentraat als meststof verlaagd.

Referenties

Bouwman, A.F., L.J.M. Bouman en N.H. Batjes, 2002. Estimation of global NH₃ volatilization loss from synthetic fertilizers and animal manure applied tot arable lands and grasslands. *Glob. Biogeochem. Cycl.*, vol.16, No.2, p. 1024.

Bussink, D.W., J.F.M. Huijsmans en J.J.M.H. Ketelaars, 1994. Title Ammonia volatilization from nitric-acid-treated cattle slurry surface applied to grassland. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 42, pp. 293-309.

Dijk, T.A. van, J.J.M. Driessen, P.A.I. Ehlert, P.H. Hotsma, M.H.M.M. Montforts, S.F. Plessius en O. Oenema, 2008. *Protocol beoordeling stoffen Meststoffenwet versie 1.1, Werkdocument 85*. Wettelijke Onderzoekstaken Natuur en Milieu, Wageningen, 48 p.

Elzing, A. en G.J. Monteny, 1997. Ammonia emission in a scale model of a dairy-cow house. *Transactions of the ASAE* 40, pp. 713-720.

EU, 2003. *VERORDENING (EG) nr. 2003/2003 VAN HET EUROPEES PARLEMENT EN DE RAAD van 13 oktober 2003 inzake meststoffen*.

Geel, W. van, W. van Dijk en W. van den Berg, 2011. *Stikstofwerking van mineralenconcentraten bij aardappelen*. Verslag van veldonderzoek in 2009 en 2010. PPO Rapport (In voorbereiding).

Groenigen, J.W. van, G.L. Velthof, F.J.E. van der Bolt, A. Vos en P.J. Kuikman, 2005. Seasonal variation in N₂O emissions from urine patches: effects of urine concentration, soil compaction and dung. *Plant and Soil* 273, pp. 15-27.

Harrison, R. en J. Webb, 2001. A review of the effect of N fertilizer form on gaseous N emissions. *Advances in Agronomy* 73, pp. 65-108.

Hoeksma, P., F.E. de Buissonjé en J.H. Horrevorts, 2011. *Mineralenconcentraten uit dierlijke mest*. Rapport WUR Livestock Research (in voorbereiding).

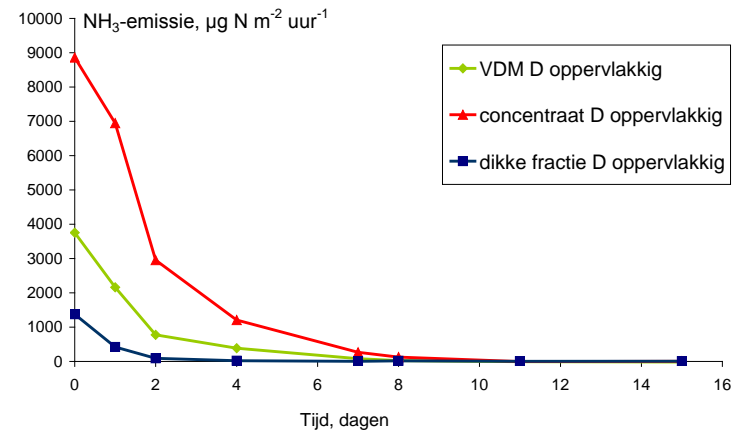
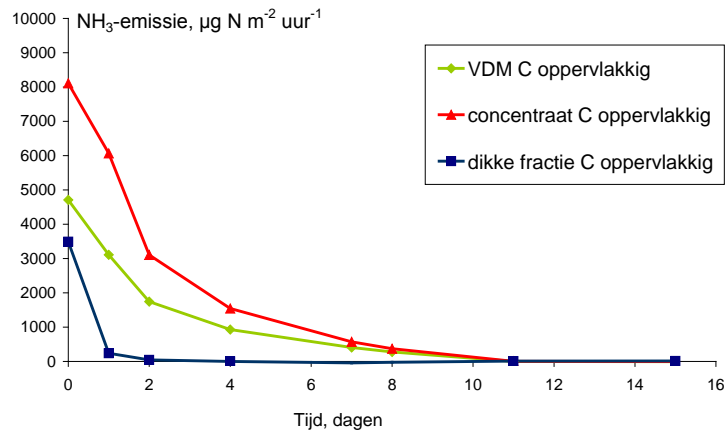
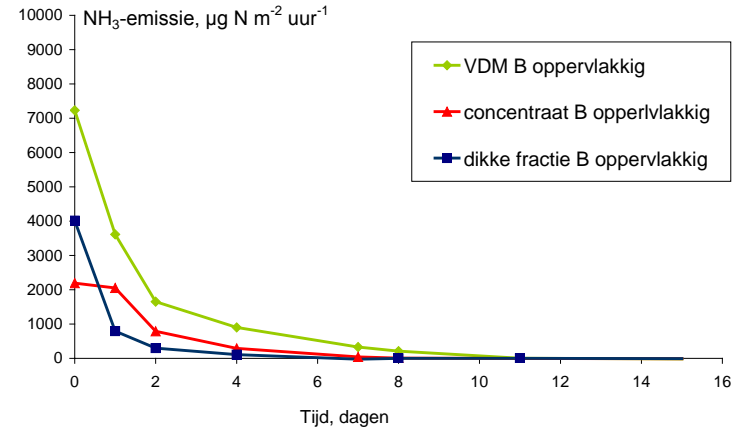
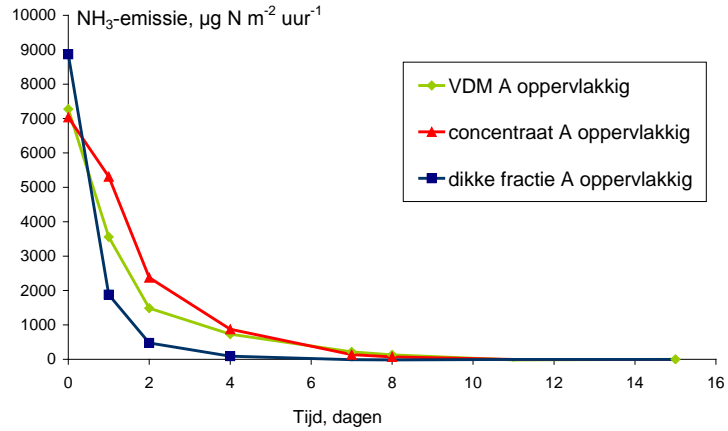
Huijsmans, J.F.M., 2003. *Manure application and ammonia volatilization*. PhD thesis Wageningen University with summaries in English and Dutch, Wageningen, The Netherlands, ISBN 90-5808-937-1, pp. 160. (also available as report No. 2003-20, Institute of Agricultural Engineering (IMAG), Wageningen, The Netherlands, ISBN 90-5406-236-3).

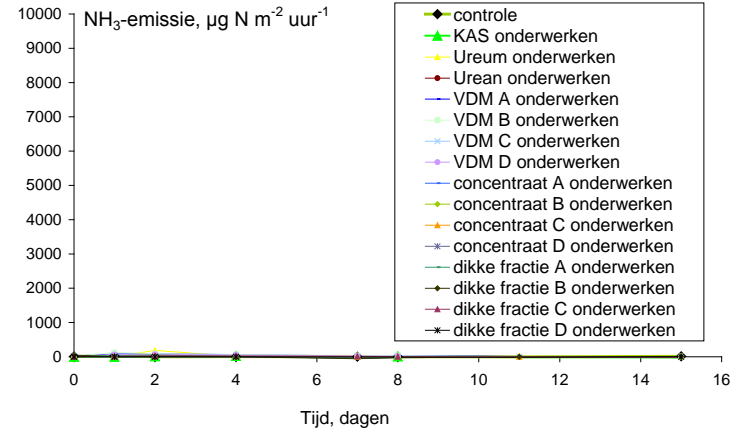
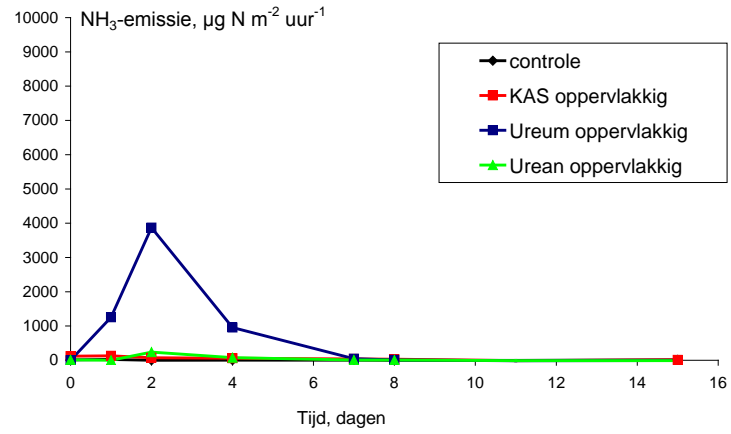
Huijsmans, J.F.M., D.W. Bussink, C.M. Groenestein, G.L. Velthof ennd G.J. Vermeulen, 2011. Ammonia emission factors for field-applied manure, fertilisers and grazing in the Netherlands. *Submitted to Atmospheric Environment*.

Huijsmans, J.F.M en J.M.G. Hol, 2011. *Ammoniakemissie bij toediening van concentraat op beteeld bouwland en grasland*. Plant Research International. Rapport Plant Research International (in druk).

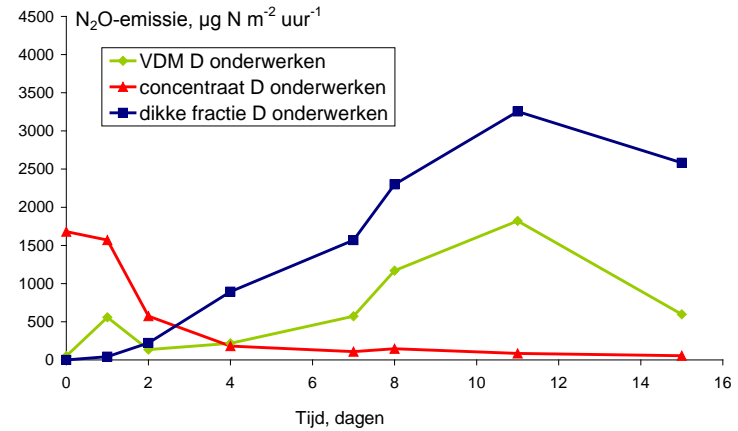
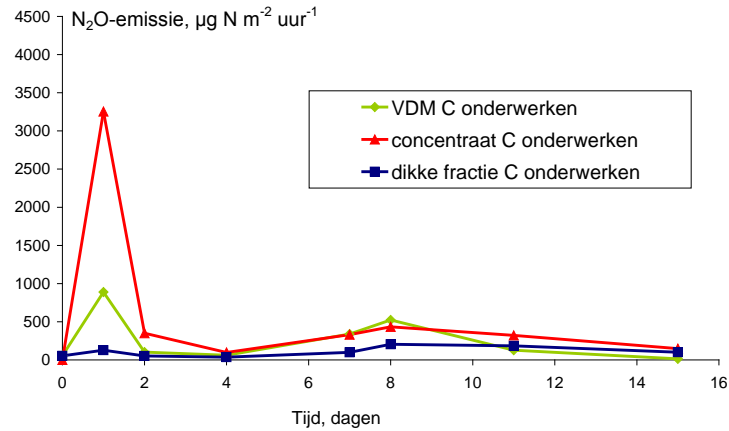
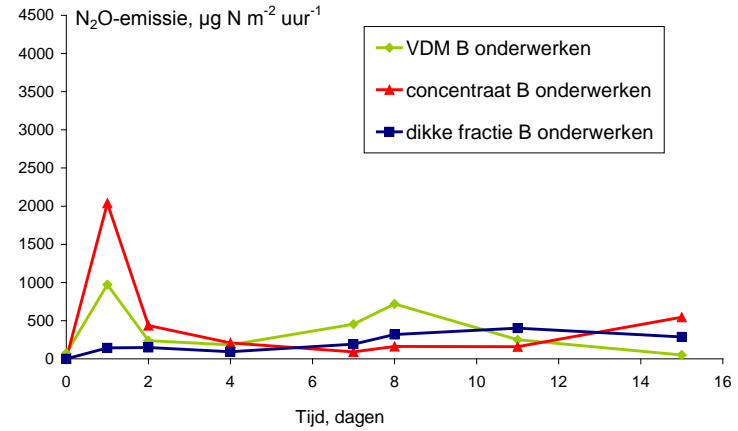
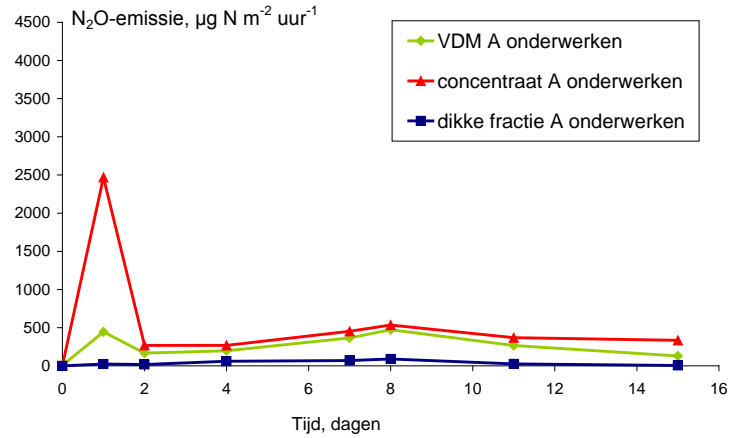
- Middelkoop, J.C. van en G. Holshof, 2011. *Stikstofwerking van mineralenconcentraten op grasland. Veldproeven 2009 en 2010*. Rapport Wageningen UR Livestock Research (in voorbereiding).
- Oenema, O. en G.L. Velthof, 1993. Ammonia volatilization from compound nitrogen-sulfur fertilizers. In: *Optimization of plant nutrition*, M.A.C. Fragoso, M.L. van Beusichem (eds.). Kluwer, Dordrecht, 1993, pp. 341-349.
- Oenema, O., G.L. Velthof, S. Yamulki en S.C. Jarvis, 1997. Nitrous oxide emissions from grazed grassland. *Soil Use and Management* 13, pp. 288-295.
- Paul, J.W. en E.G. Beauchamp, 1989. Effect of carbon constituents in manure on denitrification in soil. *Can. J. Soil Sci.* 69, pp. 49 - 61.
- Sommer, S.G., J.K. Schjoerring en O.T. Denmead, 2004. Ammonia emission from mineral fertilizers and fertilized crops. *Advances in Agronomy* 82, pp. 557-622.
- Velthof, G.L., O. Oenema, R. Postma en M.L. van Beusichem, 1997. Effects of type and amount of applied nitrogen fertilizer on nitrous oxide fluxes from intensively managed grassland. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 46, pp. 257-267.
- Velthof, G.L., C. van Bruggen, C.M. Groenestein, B.J. de Haan, M.W. Hoogeveen en J.F.M. Huijsmans, 2009. *Methodiek voor berekening van ammoniakemissie uit de landbouw in Nederland*. Wageningen, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, WOt-rapport 70, 180 p.
- Velthof, G.L., O. Oenema, J. Postmus en W.H. Prins, 1990. In situ field measurements of ammonia volatilization from urea and calcium ammonium nitrate. *Meststoffen* 1990, 1-2, pp. 41-45.
- Velthof, G.L., P.J. Kuikman en O. Oenema, 2003. Nitrous oxide emission from animal manures applied to soil under controlled conditions. *Biology and Fertility of Soil* 37, pp. 221-230.
- Velthof, G.L. and J. Mosquera, 2011a. The impact of manure application technique on nitrous oxide emission from agricultural soils. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, pp. 298-308.
- Velthof, G.L. and J. Mosquera, 2011b. *Calculation of nitrous oxide emission from agriculture in the Netherlands. Update of emission factors and leaching fraction*. Alterra report 2151, Wageningen, Alterra.
- Vermoesen, A., P. Demeyer, G. Hofman en O. van Cleemput, 1992. Field measurements of ammonia volatilization upon application of different NH_4 -fertilizers and urea. *Pedologie* 42, pp. 119-128

Bijlage 1 Resultaten van ammoniakemissie uit proef 1

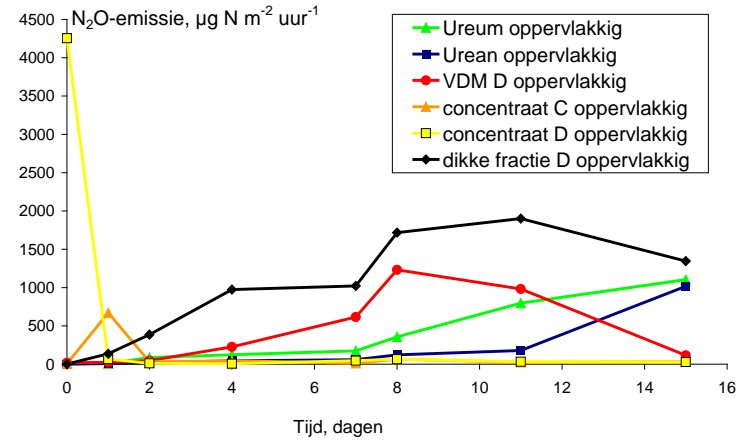
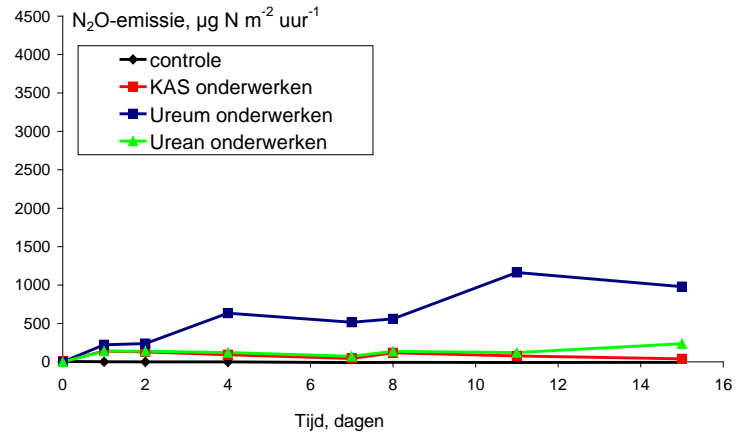




Bijlage 2 Resultaten van lachgasemissie uit proef 1

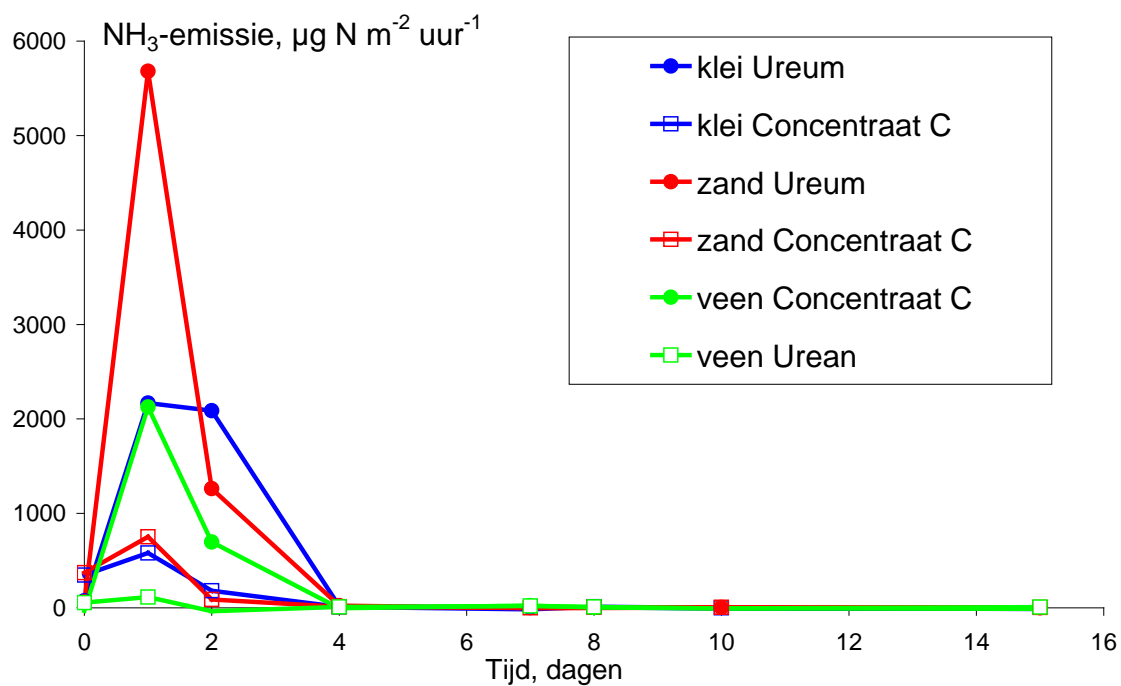


Bij oppervlakkig toediening zijn alleen de objecten weergegeven waarvan de emissie minimaal op één tijdstip > 500 mg N/m²/uur is.



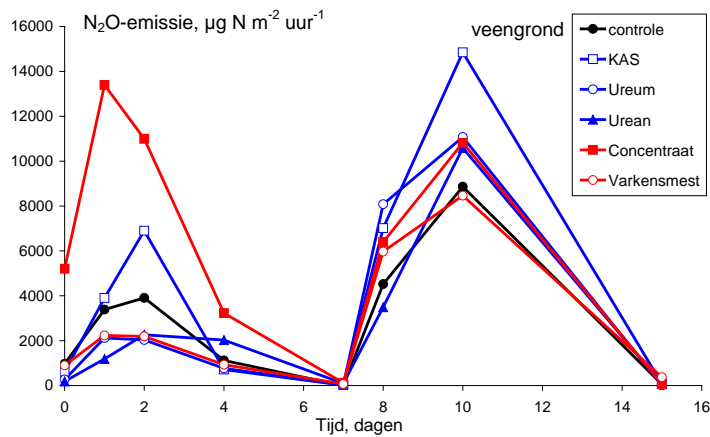
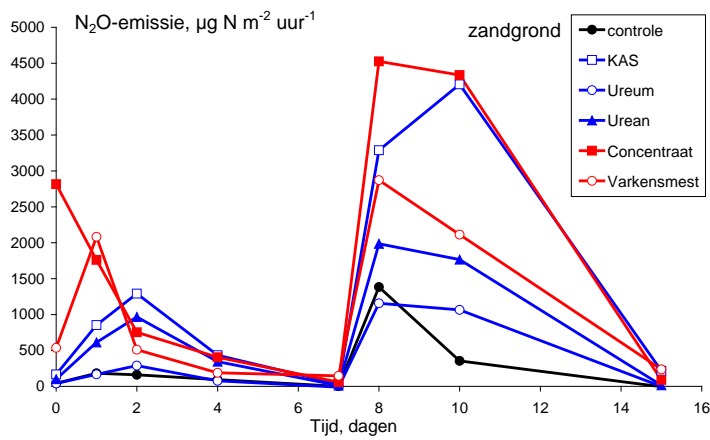
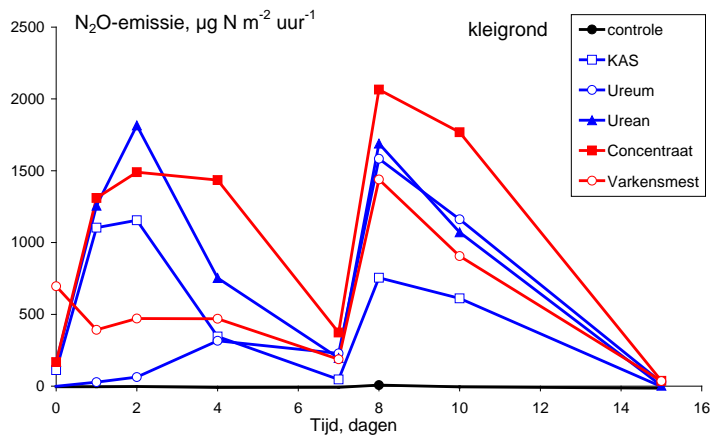
Bijlage 3 Resultaten van ammoniakemissie uit proef 2

In onderstaande figuur staan de ammoniakemissie van ureum (hoogste emissie) en concentraat C (concentraat met hoogste ammoniakemissie) weergegeven.

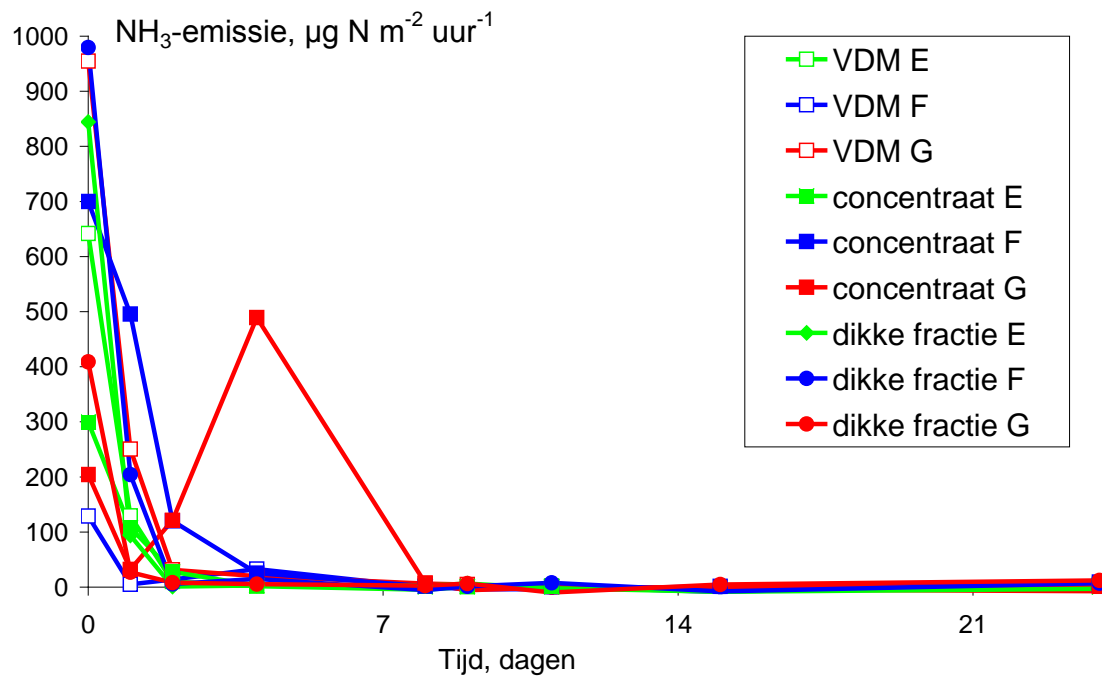


Bijlage 4 Resultaten van lachgasemissie uit proef 2

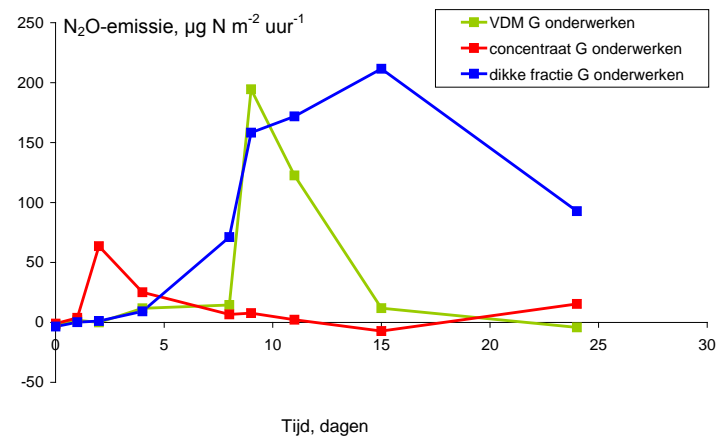
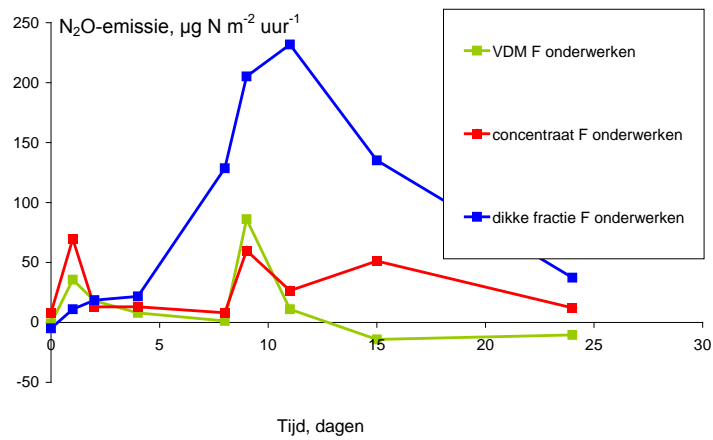
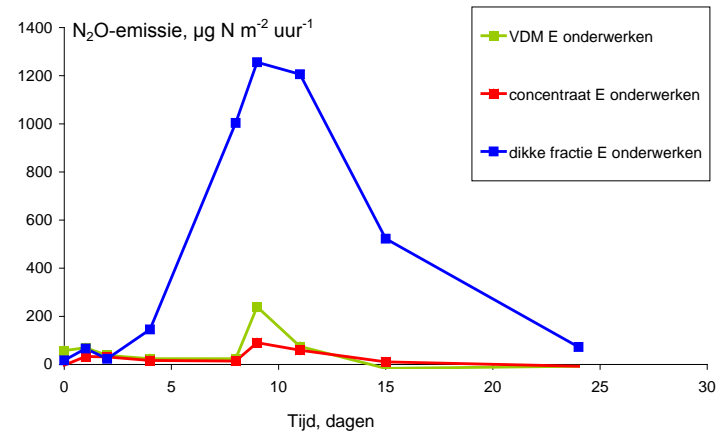
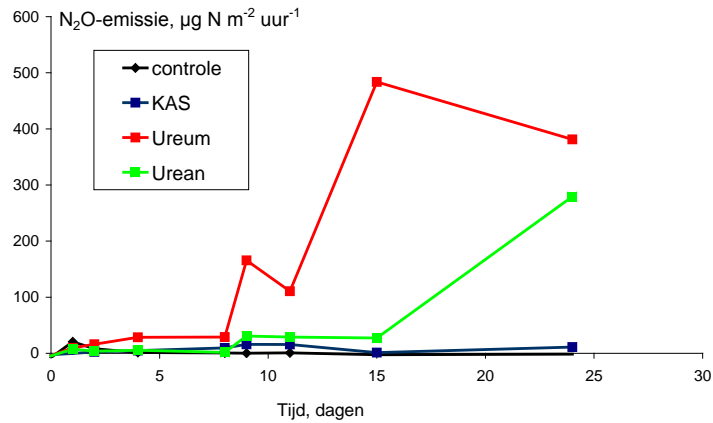
In onderstaande figuren staat het verloop van de lachgasemissie gegeven voor de drie grondsoorten. De emissies van concentraat en varkensmest is de gemiddelde emissie van de vier installaties (A-D). De schaal van de Y-as is verschillend voor de drie figuren.



Bijlage 5 Resultaten van ammoniakemissie uit proef 3



Bijlage 6 Resultaten van lachgasemissie uit proef 3





Alterra is onderdeel van de internationale kennisorganisatie Wageningen UR (University & Research centre). De missie is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen negen gespecialiseerde en meer toegepaste onderzoeksinstituten, Wageningen University en hogeschool Van Hall Larenstein hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 40 vestigingen (in Nederland, Brazilië en China), 6.500 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de vooraanstaande kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen natuurwetenschappelijke, technologische en maatschappijwetenschappelijke disciplines vormen het hart van de Wageningen Aanpak.

Alterra Wageningen UR is het kennisinstituut voor de groene leefomgeving en bundelt een grote hoeveelheid expertise op het gebied van de groene ruimte en het duurzaam maatschappelijk gebruik ervan: kennis van water, natuur, bos, milieu, bodem, landschap, klimaat, landgebruik, recreatie etc.

Meer informatie: www.alterra.wur.nl